DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN UND GÖTTINGEN

34. JAHRGANG HEFT 9 (257—288) 1947

INHALT:

100 Jahre physikalische Erdbebenforschung und Sprengseismik. Von L. Mintrop 257

Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. II. Die Frostzerrung und das Winterklima. Von H. Poser 262

Die Vitalfluorochromierung des Protoplasmas. Von S. Strugger 267

Über homogene und spläritische Verkalkung bei den verschiedenen Arten des Knochengewebes. Von W. J. Schmidt 273

Kurze Originalmitteilungen.

Neue optische Filter durch absorptionsfreie Interferenzschichten. Von H. Schröder 277

Die *pH*-Abhängigkeit der Adsorption amphoterer Stoffe. Von G. Hesse und O. Sauter 277

Über die Hemmung der Kartoffelphosphatase durch Phosphat- und Arsenat-Ionen. Von B. Helferich und H. Stetter 278

Die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer von Blütenpollen. Von G. Bredemann, K. Garber, P. Harteck und Kl. A. Suhr 279

Über die Vererbung der Plasmonvarianten reciprok verschiedener Epilobium-hirsutumparviflorum-Bastarde. Von P. Michaelis 280

Optische und statische Gleichgewichtsreaktionen fliegender Libellen. Von H. Mittelstaedt 281

Über nicht kopulierende Chlamydomonas-Zellen. Von F. Moewus 282

Krystallisation des kopulationsverhindernden Wirkstoffs von Chlamydomonas agametos. Von R. Kuhn und I. Löw 283

Besprechungen.

B. Bavink, Was ist Wahrheit in den Naturwissenschaften? (Ref.: M. v. Laue) 283

O. H. Schindewolf, Fragen der Abstammungslehre. — R. Mertens, Die „Typostrophen-Lehre" im Lichte des Darwinismus. (Ref.: M. Schwarzbach) 283

E. Bünning, In den Wäldern Nord-Sumatras (Ref.: F. Firbas) 284

C. Noeggerath, Von der geistigen Wurzel der Medizin. (Ref.: B. v. Hagen) 284

Berichte.

Die Chemie der Silikone. Von R. Schwarz . . . 285

Seismische Ergebnisse der Helgoland-Sprengung. Von G. A. Schulze 288

Ausgegeben im Juni 1948.

STUDIUM GENERALE

ZEITSCHRIFT FÜR DIE EINHEIT DER WISSENSCHAFTEN IM ZUSAMMENHANG IHRER BEGRIFFSBILDUNGEN UND FORSCHUNGSMETHODEN

Herausgegeben von

K. H. BAUER · L. CURTIUS · F. ERNST · W. EUCKEN · E. HOFFMANN · E. v. HOLST · K. JASPERS FR. OEHLKERS · H. PETERS · K. REIDEMEISTER · F. H. REIN · W. RÖPKE · R. SMEND · TH. STEINBÜCHEL H. THIELICKE · J. TRIER · C. TROLL · A. WEBER · C. F. v. WEIZSÄCKER

Schriftleitung: M. THIEL

Die Zeitschrift erscheint vorerst monatlich in einzeln berechneten Heften von etwa 64 Seiten Umfang.

Vor kurzem erschien: I. Jahrgang, Heft 2, Januar 1948. 62 Seiten. RM 4.80.

Inhalt des zweiten Heftes: Christlicher Humanismus. Von *Hans Urs v. Balthasar.* — Humanismus und Christentum. Von *Rudolf Bultmann.* — Römertum und Humanismus. Von *Hellfried Dahlmann.* — Der Humanismus als Methodenproblem der klassischen Philologie. Von *Harald Patzer.* — Das Problem des Menschen in Gegenwart und Vorzeit. Von *Herbert Kühn.* — Über die Herkunft einiger Wörter des sittlichen Bereiches. Von *Jost Trier.* — Die Idee der Universität am Beispiel naturwissenschaftlicher Erkenntnis. Von *Friedrich Becker.* — Von der Universität: Bericht der Universität.

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen RM 24.—, für das einzelne Heft RM 2.50 zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden vom Springer-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Jebensstraße 1, angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin-Charlottenburg 2 Jebensstraße 1 — **Göttingen** Weender Straße 60

Redaktionelle Hinweise.

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik K. O. M. („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne K.O.M. nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des vorangehenden Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten, sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Bei photographischen Abbildungen (Autotypien) kann das Druckergebnis auf dem heute zur Verfügung stehenden Papier nur in seltenen Fällen wirklich befriedigen. Es ist deshalb ratsam, Autotypien nach Möglichkeit zu vermeiden. In vielen Fällen läßt sich das Wesentliche durch eine Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

BIOCHEMISCHE ZEITSCHRIFT

Begründet von C. Neuberg

Unter Mitwirkung zahlreicher Fachgenossen

*

Herausgegeben von

F. G. Fischer
Würzburg

K. Lang
Mainz

*

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften, die zu Bänden von etwa 25—30 Bogen vereinigt werden.

Vor kurzem erschien:

318. Band, 2./3. Heft (Abgeschlossen am 8. November 1947). Mit zahlreichen Abbildungen und Tabellen, 208 Seiten. 1947. RM 18.60.

Inhaltsverzeichnis:

Über die enzymatische Spaltung der Hyaluronsäure. I. Mitteilung: Spaltung durch Mucopolysaccharase aus Säugerhoden. II. Mitteilung: Abbau zu Monosacchariden. Von *L. Hahn.* — Wirkung der Calciumkonzentration in der Nahrung auf wachsende Ratten. Von *F. Holtz, H. Popper* und *L. Silbermann.* — Eine mercurimetrische Bestimmung des Chlorids im Harn. Von *G. Kuschinsky* und *H. Langecker.* — *l*- und *d*-Dipeptidasen. Eine Unterscheidung und Charakterisierung dipeptidspaltender Fermente in Organauszügen. Von *R. Merten.* — *l*- und *d*-Peptidasen in den Formelementen des menschlichen und tierischen Blutes. Von *R. Merten.* — Abwehrfermentreaktionen gegen Bakterieneiweiß und Bakterientoxin (Tuberkelbazillen- und Diphtheriebazillen-Eiweiß, Tuberkulin und Diphtherie-Toxin). Von *R. Merten.* — Lipasestudien. Von *H. Steudel.* — Zur Biochemie der Schilddrüsenfunktion. VI. Mitteilung: Über den Einfluß des Vitamins C auf thyroxinbehandelte Kaulquappen. Von *F. Hüter.* — Untersuchungen an synthetischen Glyceriden. II. Mitteilung: Lipatische Spaltversuche an synthetischen Glyceriden mit Fettsäuren mit 8—18 C-Atomen. Von *K. E. Schulte.* — Die Wirkung von Thrombin auf die Stabilität von Kolloiden. Von *F. Knüchel.* — Experimentelle Untersuchungen über das Wesen der in Normalserum vorkommenden Paramäzien tötenden Substanz. Von *F. Knüchel.* — Die Wirkung von Thrombin auf die Blutkörperchensenkung. Von *F. Knüchel.* — Über einen Brenztraubensäure beeinflussenden Faktor in Insulinlösungen. Von *H. W. Schmidt.* — Die Autoxydation emulgierter Fette. Von *F. Kiermeier.* — Der Einfluß des Schälens auf lagernde Sonnenblumensamen. Von *F. Kiermeier.* — Der Einfluß des Gefrierens auf die Wirksamkeit von Fermenten. Von *F. Kiermeier.* — Verdaulichkeit und Fütterungswert hochmolekularer Keratinabbauprodukte (Keratose). Von *H. Hanson.* — Die Cystein-Cystin-Bestimmung mit Phosphor-18-Wolframsäure im lichtelektrischen Kolorimeter nach Havemann. Von *H. Hanson.* — Notiz über die Merkaptobrenztraubensäure. Von *F. Schneider.*

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

34. Jahrgang Heft 9*) 1947

100 Jahre physikalische Erdbebenforschung und Sprengseismik.

Von Ludger Mintrop, Essen-Werden.

Physikalische Erdbebenforschung und Sprengseismik blicken auf ein hundertjähriges Dasein zurück. Erstere hat während ihres ganzen Lebens das große Ziel der Erforschung des Erdinnern bis zum Erdkern verfolgt und dabei brauchbare Unterlagen für physiko-chemische Betrachtungen über die in unerreichbarer Tiefe, fern wie die Sterne, lagernden Schichten geschaffen. Demgegenüber hat sich die Sprengseismik über 70 Jahre lang mit Untersuchungen über die Geschwindigkeit elastischer Wellen in den an der Erdoberfläche bzw. in Bergwerken sichtbar anstehenden Gesteinen begnügt, dabei aber der physikalischen Erdbebenforschung die ersten der Wirklichkeit entsprechenden Wellengeschwindigkeiten geliefert, zu deren Ermittlung diese selbst aus instrumentellen Gründen jahrzehntelang nicht in der Lage war. Bei dem Versuch, die in der physikalischen Erdbebenforschung entwickelten Theorien und gesammelten Erfahrungen über die Ausbreitung der elastischen Wellen in großer Tiefe auch auf die äußerste Erdkruste anzuwenden, erfolgte im Jahre 1919 die Entdeckung eines bis dahin der Beobachtung entgangenen Wellenphänomens, der sogenannten „Grenzwelle" oder „elastischen Kopfwelle", wie sie in der Physik genannt wird. Mit dieser Entdeckung war die Möglichkeit gegeben, den Aufbau der Gebirgsschichten im Untergrunde von der Erdoberfläche aus, d. h. ohne Bohrungen und Schächte, genauestens zu erforschen und damit den Weg zu weisen zu den im Schoße der Erde verborgenen mineralischen Rohstoffquellen. Die Erfahrungen in der Sprengseismik gaben der physikalischen Erdbebenforschung die Möglichkeit, durch die Auswertung von Nahbebenbeobachtungen sich auch der Erforschung der unterhalb der Reichweite von Bohrungen und Schächten anstehenden Gebirgsschichten zu widmen und damit zur Lösung tektonischer und stratigraphischer Probleme der Geologie beizutragen. Da die Tiefe eines Erdbebenherdes nie genau bekannt, der Herd auch selten punktförmig und die genaue zeitliche Ermittlung der Auslösung der elastischen Wellen, d.h. die Herdzeit, nur ausnahmsweise mit genügender Schärfe möglich ist, hat neuerdings die Sprengseismik diese Aufgabe zum Teil übernommen und dabei bereits Tiefen von 100 km erreicht.

Die physikalische Erdbebenforschung beginnt im Jahre 1848 mit einer Abhandlung des Engländers William Hopkins (1), der zuerst praktischer Landwirt war, dann Mathematiker und vielgesuchter Tutor — zu seinen Schülern in Cambridge gehörten u. a. Stokes, Thomson und Maxwell — und später Geologe und Präsident der Geological Society wurde. Hopkins wandte zum ersten Male die Brechungs- und Reflexionsgesetze der Optik auf die Ausbreitung der Erdbebenwellen an und führte die Begriffe: scheinbare Oberflächengeschwindigkeit $\mathfrak{V}$, Raumgeschwindigkeit v sowie die Beziehung $\sin i = v : \mathfrak{V}$ ein, nach der sich der Austrittswinkel der vom Hypozentrum (Erdbebenherd) ausgehenden elastischen Wellen an der Erdoberfläche ergibt. Die Fig. 1 zeigt den Verlauf der Wellenfronten und Stoßstrahlen bei einem tiefen, durch Schichten verschiedener Elastizität und Dichte überlagerten Erdbebenherd nach Hopkins. Aussagen über die in den Schichten herrschenden Wellengeschwindigkeiten konnten nicht gemacht werden, da es an einer Methode (Methode der Laufzeitkurve) fehlte und zudem die Herdzeit und die Herdtiefe unbekannt blieben. Aber auch bei bekannter Herdzeit und Aufstellung von Laufzeitkurven ergeben sich selbst bei bekannter Herdtiefe nur durchschnittliche Geschwindigkeiten, wie die vom Verfasser 80 Jahre später auf Grund der seismographischen Aufzeichnungen der von einer in einem 1020 m tiefen Bohrloch stattgefundenen Sprengung von 530 kg Dynamit ausgehenden longitudinalen Wellen und des durchsunkenen Schichtenprofils entworfene Fig. 2 zeigt. Die obere Kurve, der Hodograph (Hodos = Weg), ergibt sich, wenn die an der Erdoberfläche in den vom Mundloch der Bohrung, dem Epizentrum, aus gemessenen Entfernungen von 100, 350, 1300, 2025, 2580, 3650 und 4140 m registrierten Laufzeiten der Wellen graphisch aufgetragen und durch eine Kurve miteinander verbunden werden. Die Laufzeitkurve ist entstanden, indem zunächst die Entfernungen vom Sprengpunkt bis zu den einzelnen Beobachtungspunkten berechnet und in diesen Entfernungen die gemessenen Laufzeiten aufgetragen worden sind. Aus dem Hodographen können die scheinbaren Oberflächengeschwindigkeiten $\mathfrak{V}$ mit dem Wert $\mathfrak{V} = \infty$ im Epizentrum entnommen werden,

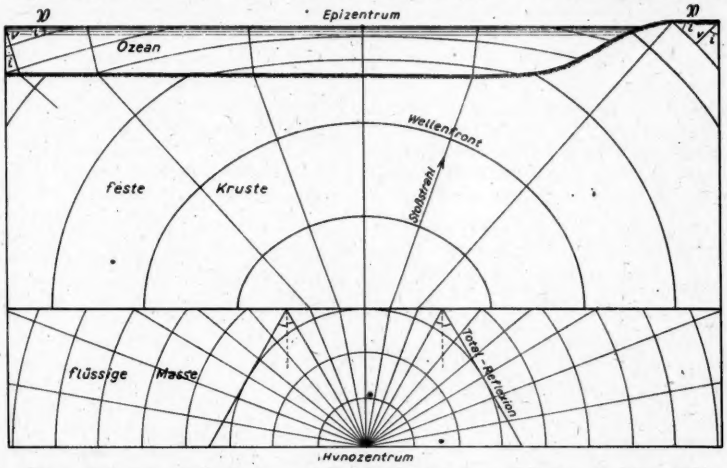


Fig. 1. Verlauf der Wellenfronten und Stoßstrahlen bei einem Erdbeben. Hopkins 1848.

*) Ausgegeben im Juni 1948.

während sich aus der Laufzeitkurve die Raumgeschwindigkeiten v zwischen Sprengpunkt und Beobachtungspunkten ergeben. Diese mittleren Geschwindigkeiten sagen über die elastischen Eigenschaften der einzelnen zwischen dem Hypozentrum und der Erdoberfläche liegenden Gebirgsschichten nichts aus. In der Fig. 2 ist der hypothetische Verlauf eines Stoßstrahles strichpunktiert eingezeichnet, der wirkliche Verlauf bleibt unbekannt.

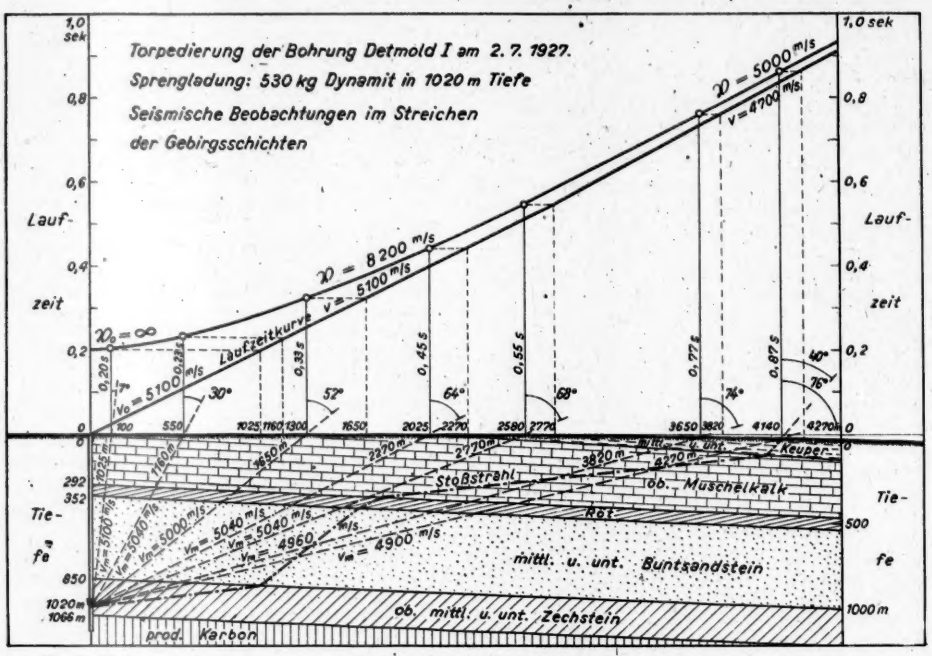


Fig. 2. Hodograph, Laufzeitkurven und Stoßstrahlen bei einer Sprengung in einem Bohrloch. Mintrop 1927.

Im Jahre 1888 hat der Oberlehrer am Realgymnasium in Stuttgart, der nachmalige Professor an der dortigen Technischen Hochschule und Leiter der Württembergischen Meteorologischen Zentralstation, August Schmidt (2), unter der Annahme einer mit der Tiefe stetig zunehmenden Wellengschwindigkeit und entsprechender nach unten konvexer Krümmung der Stoßstrahlen eine Methode entwickelt, nach der an Hand des Hodographen (Fig. 3) die in den verschiedenen Tiefen herrschenden Wellengeschwindigkeiten abgeleitet werden können. Eine Nachprüfung der Theorie an dem Hodographen zum Erdbeben von Herzogenrath vom Jahre 1873 scheiterte indessen an der Unzulänglichkeit des damals vorliegenden Beobachtungsmaterials. Wegen ungenügender Empfindlichkeit der bis dahin verwendeten Seismometer — in der Regel durch ein Fernrohr mit Fadenkreuz beobachtete Quecksilber-Horizonte — waren statt der longitudinalen und transversalen Vorläufer, die in die Tiefe dringen, nur die nachfolgenden, lediglich in den oberflächlichen Schichten verlaufenden, zwar größeren, aber sehr viel langsamer fortschreitenden „langen Wellen" beobachtet worden. Diese langperiodischen Wellen sind äußerlich den nach der Störung einer ruhigen Wasseroberfläche, z. B. durch einen Steinwurf, auftretenden Wellenzügen vergleichbar.

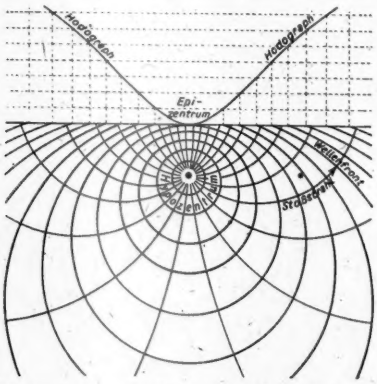


Fig. 3. Verlauf der Wellenfronten, Stoßstrahlen und des Hodographen. Schmidt 1888.

Fig. 4. Photographisch registriertes Horizontal-Seismogramm eines Fernbebens von Rebeur-Paschwitz 1889. Entfernung 9000 km.

Erst nachdem es dem Privatdozenten an der Technischen Hochschule in Karlsruhe, E. v. Rebeur-Paschwitz (3) im Jahre 1889 gelungen war, mittels des von ihm entwickelten, hochempfindlichen und photographisch-registrierenden, auf dem Pendelprinzip einer Tür mit nicht in einer Vertikalen übereinander befestigten Angeln beruhenden Seismographen das in der Fig. 4 wiedergegebenene Seismo-

gramm zu dem Erdbeben von Tokio, 9000 km von Potsdam entfernt, zur Aufzeichnung zu bringen und scheinbare Oberflächengeschwindigkeiten $\mathfrak{V}$ bis zu 15 km/sek. festzustellen, war es möglich, die Theorie von Schmidt experimentell nachzuprüfen bzw. anzuwenden.

Gegenüber der ersten im Jahre 1882 durch den englischen Seismologen John Milne (4) bei seinen

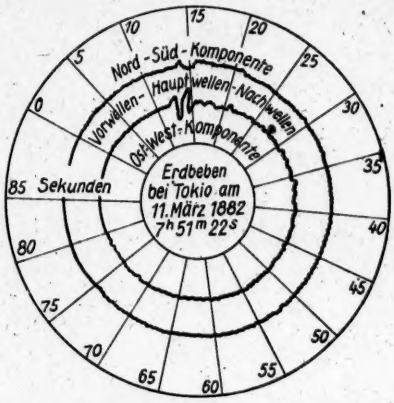


Fig. 5. Mechanisch registrierte Horizontal-Seismogramme zu einem Nahbeben. Milne 1882.

umfangreichen Forschungen in Japan automatisch auf berußtem Papier erfolgten Aufzeichnung eines Nahbebens (Fig. 5) bedeutete die Registrierung des Fernbebens durch v. Rebeur-Paschwitz einen entscheidenden Fortschritt. Dem Göttinger Geophysiker Emil Wiechert (5) war es vorbehalten, um die Jahrhundertwende mittels mechanisch, in Ruß registrierenden Instrumenten, die auf dem Prinzip der umgekehrten durch Federkraft im Gleichgewicht gehaltenen Stabpendel (astatische Pendel) großer Masse (1000 kg), beruhen und deren Eigenschwingungen durch eine Luftdämpfung vernichtet werden, Seismogramme von unvergleichlicher Klar-

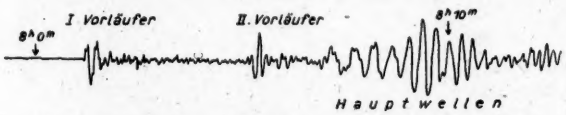


Fig. 6. Mechanisch registriertes Horizontal-Seismogramm eines Nahbebens. Wiechert 1906. Entfernung 2450 km.

heit zu gewinnen. Die Fig. 6 gibt ein Beispiel dafür, in dem die Vorläufer und die langen Wellen (Hauptwellen) schon bei einer Herdentfernung von 2450 km um mehrere Zentimeter voneinander getrennt erscheinen.

Im Jahre 1899 stellte Richard Dixon Oldham (6), Leiter der geologischen Landesaufnahme von British-Indien, die in der Fig. 7 wiedergegebenen Laufzeitkurven der Vorläufer und der langen Wellen bis zu 130° = rd 14 000 km Epizentral-Entfernung auf und ermittelte in 2900 km Tiefe eine sehr deutlich ausgesprochene Grenzfläche, an der die bis dahin zunehmende Geschwindigkeit der longitudinalen Vorläufer sprunghaft abnimmt. Wie E. Wiechert im Jahre 1897 auf Grund von theoretischen Untersuchungen über die Dichte im Erdinnern, stellt Oldham (6) in seiner Veröffentlichung die Hypothese von einem metallischen, im wesentlichen aus gediegenem Eisen bestehenden Erdkern auf, der von einer Schale aus verdichtetem Magma steiniger oder glasiger Natur umgeben ist. Außer der auf Druck- und Temperaturänderungen beruhenden stetigen Änderung der Elastizitätskoeffizienten sei beim Übergang von der Schale zum Kern mit einer plötzlichen Änderung dieser Koeffizienten zu rechnen.

Etwa gleichzeitig mit Hans Benndorf (7) in Wien hat Wiechert (8) in Göttingen im Jahre 1907 eine ausführliche Theorie der Ausbreitung der Erdbebenwellen im Erdinnern gegeben und zusammen

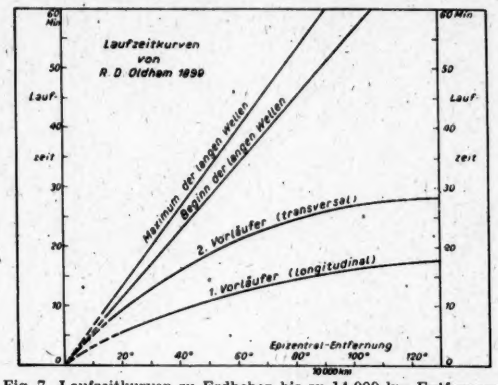


Fig. 7. Laufzeitkurven zu Erdbeben bis zu 14 000 km Entfernung. Oldham 1899.

mit seinem jungen Mitarbeiter Karl Zoeppritz (9) an Hand ausgesucht guter Seismogramme von Fernbeben bzw. der nach ihnen aufgestellten Laufzeitkurven experimentell erprobt. Das Verfahren der Berechnung und Konstruktion ist aus der Fig. 8 zu ersehen, die oben die aus Zeit- und Entfernungsmessungen an der Erdoberfläche gewonnenene Laufzeit-

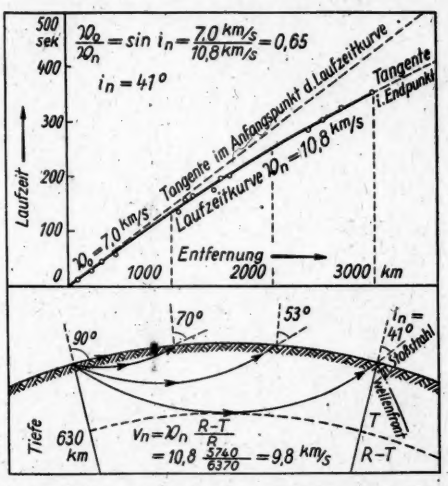


Fig. 8. Laufzeitkurve, Stoßstrahlen und Tiefengeschwindigkeiten. Wiechert-Zoeppritz 1907.

kurve des ersten (longitudinalen) Vorläufers und darunter die Konstruktion der Stoßstrahlen sowie die Berechnung der Wellengeschwindigkeit an der tiefsten Stelle des betreffenden Strahles enthält. Während Oldham (10) in einer zweiten Abhandlung aus dem Jahre 1906 seine Tiefenangabe für den Erdkern auf 3800 km erhöht, gelangen Wiechert und Zoeppritz zu einer Tiefe von nur 1500 km. Vier Jahre früher hatte Milne (11) sogar eine von C. G.

Knott berechnete Tiefe von nur 320 km berichtet (Fig. 9).

Nachdem der Wiechert-Schüler Beno Gutenberg im Jahre 1914 zu der von Oldham zuerst angegebenen Tiefe von 2900 km zurückgekehrt war, wird heute vielfach der von dem aus dem Göttinger Institut hervorgegangenen Geophysiker H. Witte (12) im Jahre 1932 nach den von Harold Jeffreys in Cambridge im gleichen Jahre veröffentlichten Laufzeiten mit dem Herglotz-Wiechertschen Verfahren berechnete Wert von 2650 km als der beste angesehen. In 900 bis 1000 km Tiefe macht sich nach Witte eine weniger stark ausgeprägte Schichtgrenze bemerkbar.

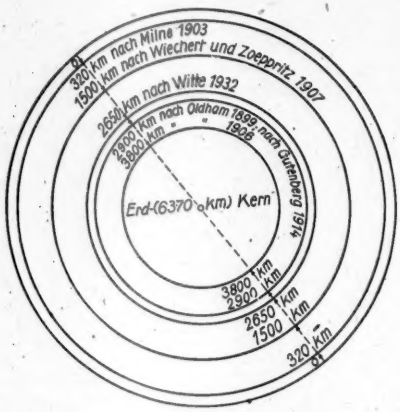


Fig. 9. Schichtgrenzen im Erdinnern nach verschiedenen Autoren.

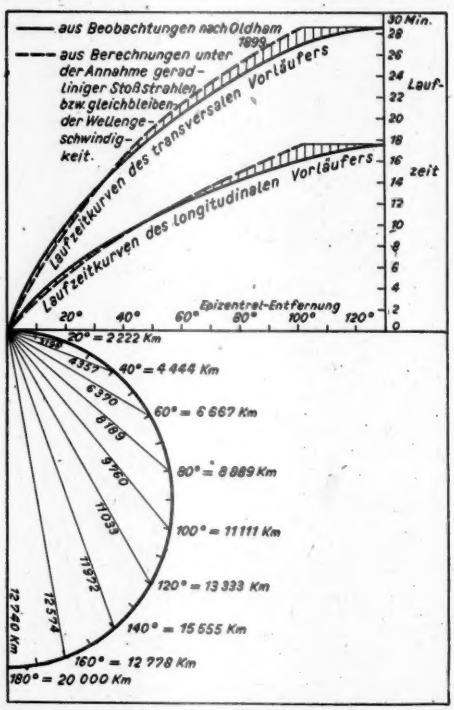


Fig. 10. Laufzeitkurven bei geradlinigem Verlauf der Stoßstrahlen und nach Beobachtungen. Oldham 1899.

Oldham (6) hat bereits im Jahre 1899 Untersuchungen über den Einfluß von Ungenauigkeiten in der Aufstellung der Laufzeitkurven auf den berechneten Verlauf der Stoßstrahlen im Erdinnern durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse in der Fig. 10 besagt, daß bei der Epizentralentfernung von 90° = 10000 km oder ein Viertel des Erdumfanges eine Ungenauigkeit in der Ermittlung der Laufzeit des ersten Vorläufers von 1 Minute den Erdkern entweder ganz verschwinden läßt oder die gesuchte Unstetigkeitsfläche zwischen Mantel und Kern ganz nahe an die Erdoberfläche heranrückt. Der Fehler von 1 Minute kann auf einer Ungenauigkeit im Zeitdienst, in der Unbestimmtheit des ersten Einsatzes im Seismogramm als Folge nicht genügender Empfindlichkeit des benutzten Seismographen oder der Art der Auslösung des Erdbebens (emersio = schwaches Auftauchen der ersten Welle im Seismogramm), in der linien- statt punktförmigen Ausdehnung des Erdbebenherdes sowie in der Unbestimmtheit der Herdtiefe liegen bzw. auf allen diesen Ursachen zugleich beruhen. Wie die Fig. 11 zeigt, weichen die von den verschiedenen Autoren unter Benutzung gleicher

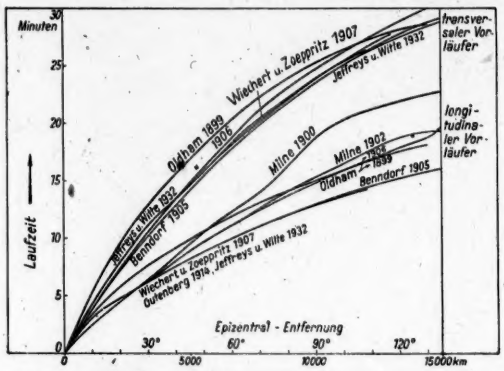


Fig. 11. Laufzeitkurven der longitudinalen und transversalen Vorläufer nach verschiedenen Autoren.

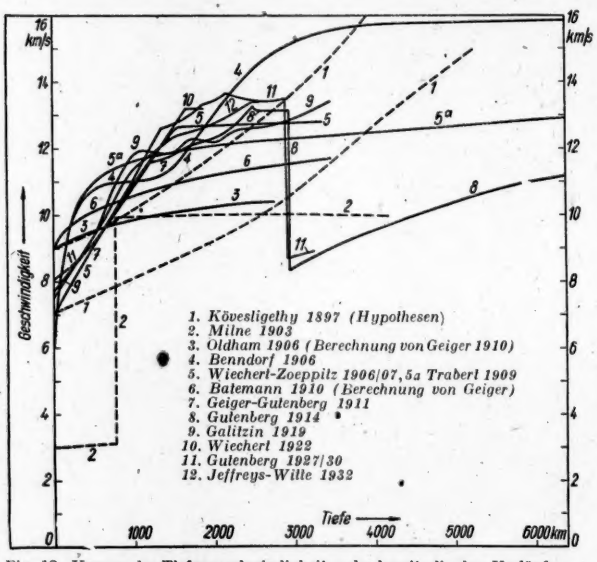


Fig. 12. Kurven der Tiefengeschwindigkeiten des longitudinalen Vorläufers nach verschiedenen Autoren.

und verschiedener Erdbeben ermittelten Laufzeiten des ersten Vorläufers bis zu mehreren Minuten voneinander ab. Insbesondere sind auch die Krümmungen der Laufzeitkurven bzw. die scheinbaren Oberflächengeschwindigkeiten in gleichen Epizentralentfernungen verschieden, so daß als Endergebnis die in der Fig. 12 dargestellte Vielfältigkeit der Tiefengeschwindigkeiten resultiert.

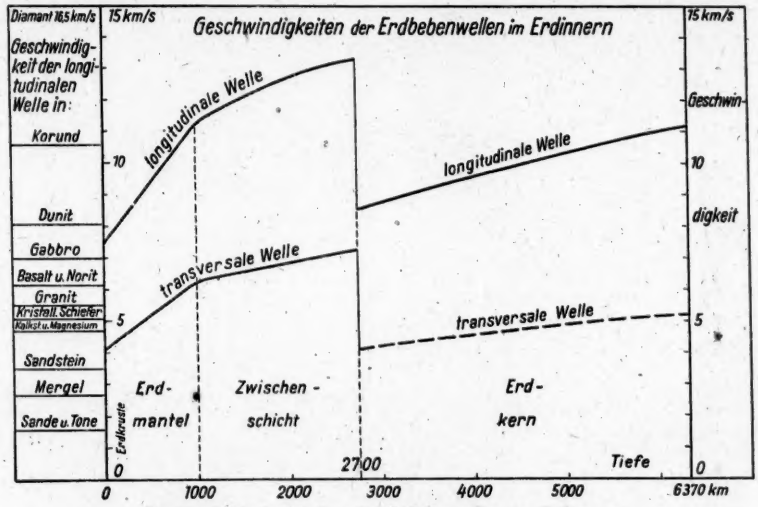


Fig. 13. Geschwindigkeiten der Erdbebenwellen im Erdinnern.

Seit der Einführung der drahtlosen Zeitübertragung und hochempfindlicher Seismographen sowie eingehender Berücksichtigung der mutmaßlichen Herdtiefen und möglichst exakter Ermittlung der Herdzeit, d. h. des Momentes der Auslösung der Wellen, durch genaue Registrierungen in den Epizentralgebieten der Erdbeben sind die obengenannten Fehler sehr weitgehend ausgeschaltet worden. Immerhin berichtet Witte (12), daß die von Jeffreys im Jahre 1932 festgestellten Laufzeiten um etwa 10 Sekunden von den bis dahin bekannten Werten abweichen.

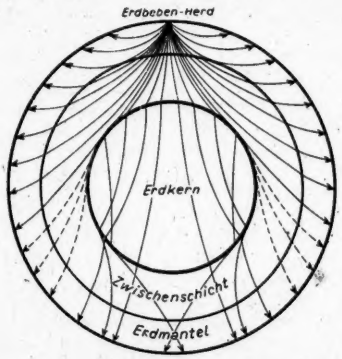


Fig. 14. Verlauf der Stoßstrahlen und Grenzflächen im Erdinnern. K. Jung 1938.

Nach den in der Fig. 13 dargestellten wesentlichen Ergebnissen von Jeffreys-Witte (12) steigt die Geschwindigkeit des longitudinalen Vorläufers von dem nahe der Erdoberfläche angenommenen Hypozentrum aus bis zu rund 1000 km Tiefe von 7,7 auf rund 11,2 km/sek an, dann erfolgt der Anstieg langsamer bis auf 13,3 km/sek. in rund 2700 km Tiefe, wo sie sprunghaft auf 8,5 km/sek abfällt. Bei dem zweiten (transversalen) Vorläufer sind die entsprechenden Werte 4,3 km/sek, 6,2 km/sek und 7,2 km/sek. Die Kurve für die transversale Welle ist im Erdkern gestrichelt worden, weil die Geschwindigkeit noch unbestimmt ist.

Eine Vorstellung von dem Verlauf der Erdbebenwellen im Erdinnern und ihrer Brechung an den beiden Grenzflächen in 1000 und 2700 km Tiefe gibt die Fig. 14 in der Darstellung von Karl Jung (13). Die gestrichelten Pfeile deuten am Erdkern gebeugte Stoßstrahlen bzw. Wellen an.

Von Ernest Tillotson (14) sind im Jahre 1939 Laufzeitkurven direkter und am Erdkern reflektierter Wellen aufgestellt worden (Fig. 15), deren Verlauf an dem Beispiel der Fig. 16 zu ersehen ist. Das Auftreten von deutlichen Reflexionen beweist neben dem bereits geschilderten plötzlichen und starken Abfall der Wellengeschwindigkeit, daß es sich am Erdkern um eine sehr ausgeprägte Grenzfläche handelt.

In der Erdrinde und erst recht in der äußeren Erdkruste, die auch die gewinnbaren Mineralien enthält, sind zahlreiche Schichtgrenzen vorhanden. Bei der Untersuchung von Fernbeben wird ihr Einfluß auf den Verlauf der Stoßstrahlen entweder ganz vernachlässigt oder nur summarisch berücksichtigt. Bei Nahbeben machen sie sich jedoch in den Seismogrammen und Laufzeiten bemerkbar, und es gelang erstmalig A. Mohorovičič (15) im Jahre 1910 bei der Bearbeitung der Registrierungen des Bebens von Agram (Zagreb) vom 8. 10. 1909 eine solche Grenzfläche in etwa 50 km Tiefe aufzuspüren. Die Fig. 17 zeigt zwei Laufzeitkurven, von der die obere mit der kleineren Wellengeschwindigkeit nur bis etwa 700 km Entfernung vom Epizentrum aufgestellt werden

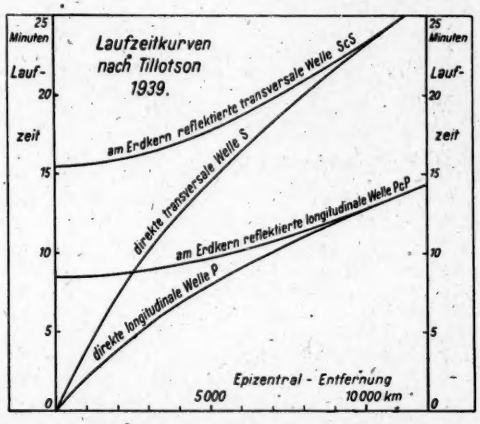


Fig. 15. Laufzeitkurven der direkten und der am Erdkern reflektierten longitudinalen Wellen. Tillotson 1939.

konnte, während die untere in etwa 300 km Entfernung beginnt, aber noch weit über 1000 km hinausreicht. Der damaligen Gewohnheit gemäß nahm Mohorovičič eine stetige Krümmung der Laufzeitkurven an, während die „Punktwolken" der beobachteten Laufzeiten ebensogut die Annahme geradliniger Laufzeitkurven, wenigstens bei der unteren Kurve, zulassen. Den gekrümmten Kurven entspricht der vom Verfasser in dem unteren Teile der Fig. 17 dargestellte Verlauf der Stoßstrahlen, wobei der obere Strahl eine Grenzfläche berührt, an der die Wellengeschwindigkeit plötzlich von 5,6 auf 7,7 km/sek springt. Aus dem Ausbleiben dieser nur in der oberen Schicht verlaufenden Welle, der direkten Welle $\overline{P}$, von etwa 700 km Entfernung an und dem Auftauchen einer anderen, der indirekten Welle P, schloß Mohorovičič auf das Vorhandensein einer solchen Grenzfläche, deren Tiefe er unter der Annahme einer Herdtiefe von 25 km zu etwa 50 km berechnete.

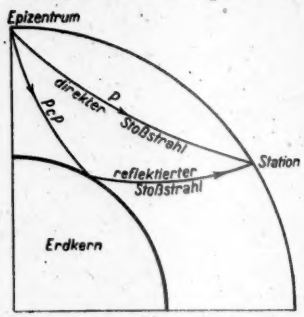


Fig. 16. Verlauf eines direkten und eines am Erdkern reflektierten Stoßstrahles. Tillotson 1939.

Es blieb der Sprengseismik vorbehalten, den Verlauf der Stoßstrahlen beim Übergang der Wellen an einer solchen Grenzfläche zu klären (Entdeckung der „elastischen Kopfwelle").

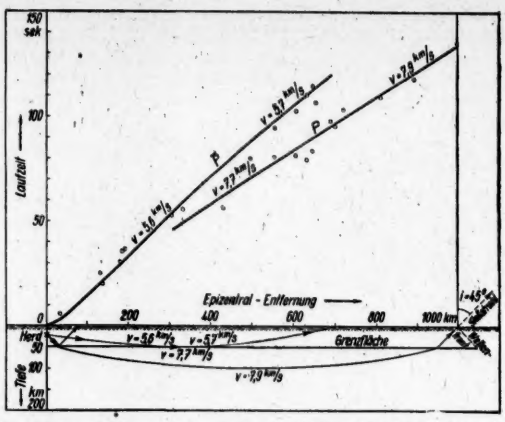


Fig. 17. Laufzeitkurven longitudinaler Wellen beim Nahbeben von Agram. A. Mohorovičič 1910.

Literatur.

(1) Hopkins, W., Report Brit. Ass. Adv. of Sc. Oxford June 1847, London (1848), Part II, Sec. 2, p. 33. — (2) Schmidt, A., Jahresh. Ver. Vaterl. Naturkunde Württemberg, Bd. 44, S. 248, Stuttgart (1888). — (3) Rebeur-Paschwitz, E. v., Pet. Mitt. Bd. 39, S. 201 (1893). — (4) Milne, J., Report Brit. Ass. 1883/84, p. 213. — (5) Wiechert, E., Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. N.F. Nr. 2 (1903). — (6) Oldham, R. D., Phil. Trans. Soc. Ser. A. Vol. 194, p. 135, London (1900). — (7) Benndorf, H., Mitt. Erdbebenkom. Bd. 29, S. 1, Bd. 2, S. 1 (1905, 1906). — (8) Wiechert, E., Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. Heft 3, S. 243 (1907). — (9) Wiechert, E., und Zoeppritz, K., Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. (1907). — (10) Oldham, R. D., Quat. Journal Geol. Soc. Vol. 62, p. 456, London (1906). — (11) Milne, J., Report Brit. Ass. p. 66 (1902/03). — (12) Witte, H., Z. Geoph. VIII. J. H. 8, S. 453 (1932). — (13) Jung, K., Kleine Erdbebenkunde, Berlin (1938). — (14) Tillotson, E., Bull. Seism. Ass. America, Vol. 29, Nr. 2, p. 345, April (1939). — (15) Mohorovičič, A., J. Met. Inst. Zagreb (Agram), Bd. IX, T. 4, Sec. 1 (1909).

(Fortsetzung und Schluß folgt.)

Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit.

Ein Beitrag zur Bestimmung des Eiszeitklimas.

Von Hans Poser, Braunschweig.

(Fortsetzung und Schluß.)

II. Die Frostzerrung und das Winterklima.

a) Die Bestimmung der Tiefe und relativen Häufigkeit der Frostzerrung.

Wie zur Charakterisierung des Sommerklimas die Auftautiefe, kann zur Charakterisierung des Winterklimas die Frostzerrung zum Ausgangspunkt gewählt werden. Unter Frostzerrung sei dabei das Aufreißen bereits gefrorenen Bodens durch Kontraktion bei tiefen Temperaturen verstanden[3]). Für die Intensität dieser Frostzerrung nach Tiefe und relativer Häufigkeit erweisen sich die eiszeitlichen Frostspalten und Lehmkeile bzw. Lehmkeilnetze als gute Indikationsformen. Beide haben, wie bereits bekannt, ihre rezenten Analoga in den heutigen Dauerfrostbodengebieten (18). Hier reißen die Frostspalten im Winter mit lautem Krach auf und vereinigen sich oft zu großen, weitmaschigen Spaltennetzen. Oft passiert es, daß sie in der folgenden Auftauperiode teils durch Ausdehnung des Bodens beim Auftauen, teils durch Einrutschen aufgeweichter Bodenteile wieder geschlossen werden, ohne sonstige Veränderungen zu erfahren. Zahlreiche fossile Frostspalten von wechselnder Tiefe, aber stets nur mäßiger, bis 2—3 dm messender Breite spiegeln genau diesen Zustand wider. Es sind vor allem jene Formen, die oft in Lockermaterial, wie Schottern und Tonen, beobachtet wurden und — wie ähnlich schon Dewers (19) feststellte — dadurch charakterisiert sind, daß dieses mehr oder minder gut geschichtete Material von beiden Seiten her in die Spalten nach abwärts hineingebogen oder verrutscht erscheint. Zweifellos gehen diese Formen auf einen einmaligen Vorgang der Spaltenbildung und der Spaltenschließung zurück. Wesentlich ist, daß sie entsprechend ihrer Genese mit ihrer Tiefe im Vertikalschnitt die ganze Tiefe der einstigen lokalen Frostzerrung zum Ausdruck bringen.

Andere der rezenten Frostspalten nehmen Schmelzwasser auf, das infolge der Undurchlässigkeit der Bodengefrornis nicht versickert und in Eis umgewandelt die Keilform der Spalten annimmt (20). Die damit verbundene Volumenzunahme führt zu Verbiegungen des Nebengesteins gewöhnlich nach oben, wie sie auch an fossilen Formen beobachtbar ist. Innerhalb des Dauerfrostbodens bleiben die Keile erhalten und verstärken sich im Laufe der Jahre durch wiederholtes Neuaufreißen der Spalten und

[3]) Diesen Vorgang mit dem Terminus Frostzerrung zu belegen, regte freundlicherweise Prof. Mortensen an.

Neuaufnahme von Schmelzwasser; in der darüber befindlichen Bodenschicht, dem Auftauboden, haben sie aber keinen Bestand, indem sie hier dem sommerlichen Auftauen unterliegen. Damit hängt es zusammen, daß die fossilen Formen, die so zu denken sind, daß bei Verbesserung des Klimas Lockermaterial aus dem Hangenden an die Stelle der Eiskeile trat, mit ihrer Höhe bzw. Tiefe von Keilschulter bis Keilspitze nur einen Teil der Tiefe der einstigen Frostzerrung sichtbar machen. Um die Gesamttiefe der winterlichen Frostzerrung zu erhalten, ist es also nötig, zu dieser meßbaren Teiltiefe noch den Mächtigkeitsbetrag jenes Bodenhorizontes hinzuzufügen, der im jahreszeitlichen Wechsel von Gefrieren und Auftauen lag. Es ist der Betrag der Auftautiefe.

Es versteht sich, daß auch die Messung der Tiefe der Frostzerrung nur auf Dezimeter-Genauigkeit möglich ist.

Außer auf die Tiefe der Frostzerrung lassen Frostspalten und Lehmkeile durch vergleichende Betrachtung auch einen Schluß auf die relative Häufigkeit der Frostzerrung zu. Die obere Breite der Formen ist sehr unterschiedlich; sie überschreitet bei Frostspalten im allgemeinen nicht den Wert von 3 Dezimeter, kann bei Lehmkeilen aber mehr als 3 Meter betragen. Aus dieser Variation der Breite schloß Soergel (21) für Lehmkeile der gleichen Eiszeit auf unterschiedliches Alter bzw. unterschiedliche Bildungsdauer entsprechend der Art des Breitenwachstums der Eiskeile durch die vielfache Wiederholung des Aufreißens der Spalten und Infiltration von Schmelzwasser. Dieser Schluß ist aber nicht unbedingt richtig; er mag zutreffen für nahe benachbarte Keile verschiedener Breite, die unter gleichen äußeren Bedingungen entstanden. Aber schon nach der Genese der Frostspalten durch einmalige Spaltenbildung und anschließende Spaltenschließung besteht die Möglichkeit, daß Frostspalten älter sind als die breitesten Lehmkeile der gleichen Eiszeit. Zeigt sich nun gar über größere Entfernung hin eine Häufung oder Ausschließlichkeit von Frostspalten und nur sehr schmalen Lehmkeilen auf der einen Seite und von breiten Formen auf der anderen Seite, wie sie in der Tat vorhanden ist, so kann diesem Unter-

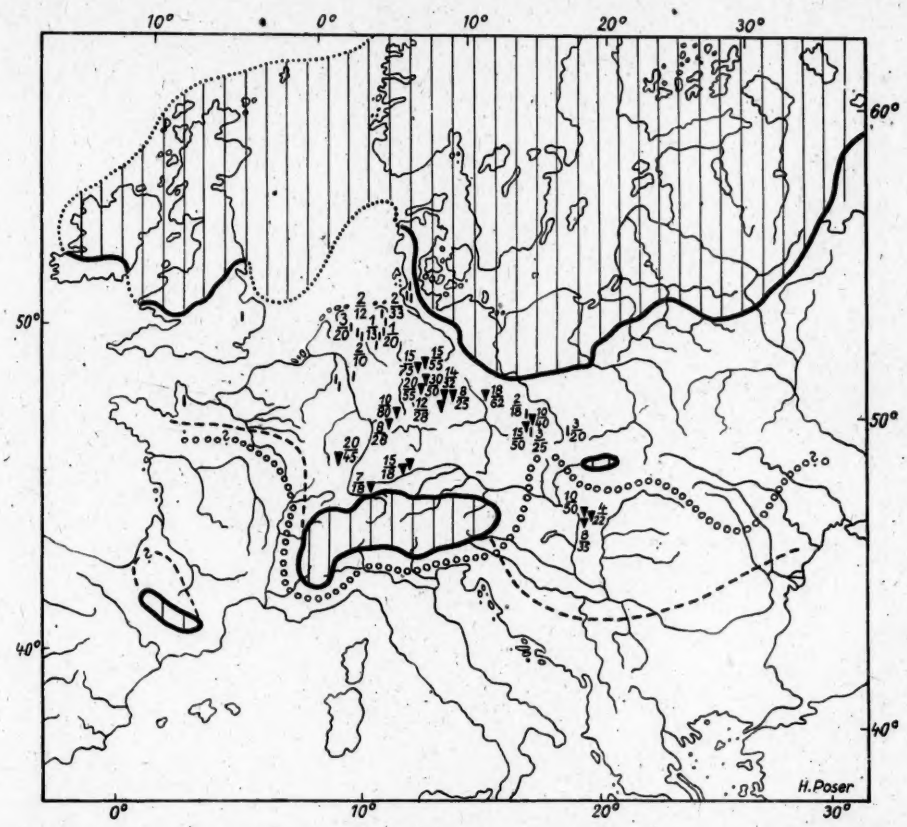


Fig. 3. Die winterliche Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. Maßstab 1 : 22 000 000.

Grenze des Inlandeises
--- Äquatorialgrenze des Dauerfrostbodens
oooo Polare Waldgrenze
▼ Lehmkeile
| Fossile Frostspalten
15 Obere Zahl = obere Breite der Formen in Dezimeter,
55 untere Zahl = Tiefe der Frostzerrung in Dezimeter.

schied nur eine regionale klimatische Ursache zugrunde liegen, nämlich gemäß der Art des Breitenwachstums der Eiskeile geringere Häufigkeit der Frostzerrung im einen Gebiet und größere Häufigkeit im anderen. Großräumiger Vergleich der Formen läßt also Rückschlüsse auf die relative Häufigkeit der Frostzerrung zu. Voraussetzung ist das Vorhandensein zuverlässiger Breitenmessungen, die nur dann möglich sind, wenn die Aufschlußwand die einzelne Form, Lehmkeil oder Frostspalte, tunlichst im rechten Winkel zu ihrer Längserstreckung schneidet. Dieser Umstand bringt es mit sich, daß manche der in der Literatur beschriebenen Formen für diesen speziellen Zweck nicht ausgewertet werden können.

Die Intensität der Frostzerrung ist ähnlich wie die Auftautiefe abhängig außer vom Klima im allgemeinen noch von der Höhenlage, der Exposition, Hangneigung, Bodenbeschaffenheit, Vegetation und in besonderem Maße vom Grade der Schneebedeckung des Bodens. Um auch in diesem Falle die verschiedenen Faktoren zugunsten des Klimafaktors zu eliminieren, sind wiederum im allgemeinen nur Formen flachen Geländes und geringer Höhenlage in die Betrachtung einbezogen worden.

b) Die regionalen Unterschiede der Frostzerrung und die winterlichen Temperaturräume.

Die für vorliegenden Zweck verwertbaren Formen sind in der Karte Fig. 3 eingetragen worden. Auch in ihr steht die einzelne Signatur mehrfach für mehrere eng benachbarte Formen, wobei jeweils der Form der Vorzug gegeben wurde, die die größten Maße nach Tiefe und Breite aufwies. Das Bild ist noch besonders lückenhaft und bedarf der Ergänzung für ganze Gebiete. Trotzdem läßt es schon jetzt einige wichtige Feststellungen treffen. Auffallend ist vor allem der Gegensatz in der Verbreitung der Frostspalten einerseits und der Lehmkeile andererseits. Nordwestdeutschland, Holland, das Niederrheingebiet und wahrscheinlich noch weitere Teile des Westens sind das Herrschaftsgebiet der Frostspalten. Ausgesprochene würmeiszeitliche Lehmkeile sind aus diesem Bereich bis heute nicht bekannt geworden. Die Spalten geben Tiefen der Frostzerrung bis etwas über 30 dm an und lassen durch ihre Schmalheit den Schluß auf sehr geringe Häufigkeit der Frostzerrung zu. Die Intensität der Frostzerrung war also, wie vor allem der weitere Vergleich lehrt, verhältnismäßig gering.

An dieses Gebiet schließt sich nach Südosten in ganzer Ausdehnung des mitteleuropäischen Tundrengürtels ein Bereich ganz offensichtlichen Vorherrschens breiter Lehmkeile an, der auch noch seine Fortsetzung im Waldland der Ungarischen Tiefebene hat. In diesem Bereich war die Intensität der Frostzerrung unvergleichlich größer. Erreicht wurden hier maximale Tiefen von 70 bis 80 dm und maximale, die Häufigkeit der Zerrung ausdrückende Keilbreiten bis 30 dm. Als ganzes kontrastiert dieses Gebiet mit Nordwest-Mitteleuropa außerordentlich. Im einzelnen zeigt es aber noch Unterschiedlichkeiten in sich, die insbesondere darin zum Ausdruck kommen, daß die genannten maximalen Werte der Zerrungsintensität in aller Deutlichkeit auf den zentral-mitteleuropäischen Raum mit dem Schwerpunkt in Mitteldeutschland beschränkt bleiben. Weiter im Osten, in Schlesien, und im Südosten, in der Ungarischen Tiefebene, sind die maximalen Beträge mit 50 dm Tiefe und 10 dm Formenbreite wesentlich kleiner. Auch im allgemeinen Durchschnitt macht sich dieser Unterschied geltend. Während sich die Tiefenwerte in Zentral-Mitteleuropa um den Wert von 50 dm gruppieren, eher darüber als darunter liegen, bleiben sie im Osten und im Südosten ganz generell unter diesem Betrag. Es ist also offensichtlich, daß das Verbreitungsgebiet der wirklich gut ausgeprägten Lehmkeile sich auffgliedert in einen Bereich sehr großer und einen Bereich auch noch großer, aber doch schon merklich geringerer Intensität der Frostzerrung. Die genaue Grenze zwischen diesen Bereichen zu finden, lassen die heutigen Beobachtungs- und Zahlenunterlagen leider noch nicht zu.

Da die Frostzerrung gemäß der Auswahl der Formen in erster Linie den Klimafaktor, d. h. hier vornehmlich den regionalen Temperaturfaktor zum Ausdruck kommen läßt, so muß der gebietlichen Unterschiedlichkeit der Frostzerrung auch eine gebietliche Unterschiedlichkeit der Temperaturverhältnisse entsprechen. Zentral-Mitteleuropa, Südosteuropa und Nordwest-Mitteleuropa sind also in dieser Reihenfolge Räume mit abnehmender Winterkälte.

Für den Schnittpunkt der Wald- und Dauerfrostbodengrenze östlich der Alpen ließ sich die Zahl der Monate mit negativen Temperaturmitteln auf 7, das Januar-Mittel auf — 14° und das Winter-Mittel auf — 12,7° ableiten und im gleichen Zusammenhange wahrscheinlich machen, daß östlich davon in der Ungarischen Tiefebene die ganz kontinental bestimmten Winter noch um mindestens einige Grade strenger waren (22). Wenn unter diesen Umständen die Frostzerrungen bis 50 dm Tiefe und die Eiskeile bis 10 dm Breite gewannen, so muß in Zentral-Mitteleuropa entsprechend seiner größeren Intensität der Frostzerrung der Winter noch kälter und härter gewesen sein, muß in Mitteldeutschland im Bereich des Maximums der Zerrungsintensität gewissermaßen der Kältepol des eisfreien Mitteleuropas gelegen haben. Wie kalt hier die Winter wirklich waren, läßt sich nicht genau angeben. Ein Vergleich mit Alaska, wo bei Januar-Mitteln zwischen — 25° und — 30° Eiskeile vorkommen, die den mitteldeutschen Lehmkeilen nach Tiefe und Breite am besten entsprechen, ist wegen des großen Unterschiedes der geographischen Breitenlage nicht möglich. Es muß aber das Januar-Mittel tiefer als im Schnittpunkt von Wald- und Dauerfrostbodengrenze gewesen sein, tiefer also als — 14°. Dieser Raum deckt sich nun mit dem Teil der Tundra, der, wie wir sahen, auch im Sommer ein ausgesprochenes Kältegebiet war; und wiederum ist es die Lage dieses Raumes in der engsten Einschnürung des Tundrengürtels durch die Inlandeisdecke im Norden und das Alpeneis im Süden, die auf diese Eismassen als Hauptkältequelle hinweist. Verstärkend kam die allgemeine winterlich kontinentale Komponente hinzu, die sich auch in der — wenn auch nur geringen — Ausdehnung kundtut, die dieses Kältegebiet gegenüber dem sommerlichen Kältegebiet nach Nordwesten besaß (vgl. Fig. 1 und 3). Geringe Bewölkung mag zusätzlich die Ausstrahlung sehr nachdrücklich begünstigt haben.

Die mäßige Intensität der Frostzerrung in Nordwest-Mitteleuropa spiegelt für diesen Raum den mildernden maritimen Einfluß wider, den wir schon bei Betrachtung der sommerlichen Auftautiefen mit der Schlußfolgerung auf einen kurzen Winter feststellten. Gestützt wird dieser Schluß durch den Verlauf der Grenze des Dauerfrostbodens über Westeuropa. In ihrer Lage bestimmt durch die Wintertemperatur, macht diese Grenze östlich der Seine eine Ausbuchtung nach Nordosten, was an dieser Stelle auf einen stärkeren maritimen als kontinentalen Einfluß deutet, mit der Richtung in das Gebiet der festgestellten geringen Frostzerrung. Die Temperaturen dieses zwar auch kalten, aber vergleichs-

weise doch milden Bereiches lassen sich nicht genauer abschätzen. Immerhin war der Winter hier nicht nur wesentlich milder als in dem benachbarten Zentral-Mitteleuropa, sondern auch merklich kürzer und milder als in der kontinental-kalten Ungarischen Tiefebene. Man wird nicht irregehen in der Annahme, daß das Winter-Mittel beträchtlich über — 10° lag. Damit stand dies Gebiet — wie auch die unterschiedliche Intensität der Frostzerrung anzeigt — im Winter in einem besonders scharfen Gegensatz zu Zentral-Mitteleuropa, und zwar in einem schärferen als im Sommer. Obgleich hier sehr wahrscheinlich stärkere Bewölkung und größere Schneehöhe sehr hemmend auf die Frostzerrung gewirkt haben, so lag doch der Grund für diesen betonten Gegensatz nicht nur in der größeren Maritimität dieses Raumes, sondern auch in der winterlichen gegenseitigen Ergänzung der glazial-kalten und kontinental-kalten Einflüsse im östlichen Nachbarraum.

Nach Aufhellung dieser kausalen Zusammenhänge lassen sich für das Winterklima unterscheiden: das maritim gemilderte Nordwest-Mitteleuropa und das glazial-kontinental streng kalte Zentral-Mitteleuropa als Provinzen der Tundrazone und die kontinental-kalte Ungarische Tiefebene als eigenes Klimagebiet der Waldzone. An diese Räume lagerten sich an als Wärmegebiet das maritim bestimmte Westeuropa südlich der Baumgrenze, für das früher schon ein Januar-Mittel von 0° bis 3° abgeleitet wurde (23), und als weitere Kältegebiete die Eisdecken im Norden und über den Alpen.

c) Weitere klimatologische Schlußfolgerungen.

Ausgehend von diesen thermisch unterschiedlichen Räumen läßt sich nun auch für den Winter eine gewisse Vorstellung von der einstigen Luftdruckverteilung gewinnen. Sie muß etwa so gewesen sein, daß infolge der weiträumigen Ausdehnung der zusammenhängenden Kältegebiete der größte Teil Europas von hohem Druck beherrscht wurde, und nur ein Ausläufer tieferen Druckes von Westen her über das maritim bestimmte Frankreich bis nach Nordwest-Mitteleuropa reichte. Fig. 4 verleiht dieser Vorstellung Ausdruck und gibt zugleich auch die Hauptwindrichtungen an. Danach waren in Westeuropa und im größten Teil Mitteleuropas auch im Winter südwestliche Winde maßgeblich. Wohl nur das Gebiet östlich der Oder und der Balkan lagen unter der Vorherrschaft östlicher bis nordöstlicher Winde.

Die aus der Karte ersichtliche Druckverteilung bekundet Züge einer ziemlichen Stabilität der kontinentalen Luftmassen. Diese legt die Vermutung nahe, daß der Einfluß wandernder Depressionen auf Wetter und Klima Europas im Winter wesentlich geringer war als im Sommer. Wenn dieser Einfluß auch vom Mittelmeer her nicht ganz gefehlt haben kann, und Störungen hier sehr wohl auf die Kaltluftmassen des Kontinentes aufgleiten konnten, so wird er sich aber vornehmlich auf die Rinne tiefen Druckes über Westeuropa und Nordwest-Mitteleuropa beschränkt haben. Hier dürfte die Störungstätigkeit häufigen Frostwechsel und vielleicht auch nicht selten winterliche Auftauperioden kürzerer Dauer zur Folge gehabt haben. Auf alle Fälle führte sie reichlichere Niederschläge herbei, als sie anderen Räumen Mitteleuropas zuteil werden konnten, Niederschläge, an welchen außer Frankreich, Belgien, Holland und Norddeutschland auch Teile Mitteldeutschlands und Südwestdeutschlands Anteil hatten. Sie bildeten im Laufe eines Winters eine Schneedecke, die vielleicht durch gelegentliche Warmlufteinbrüche vom Westen her wieder beseitigt wurde, sonst aber doch soweit Bestand hatte, daß sie im ganzen Gebiet mit zur Herabminderung der Frostzerrung beitragen konnte.

Das übrige Mitteleuropa und insbesondere Zentral-Mitteleuropa wird allein schon wegen seiner tieferen

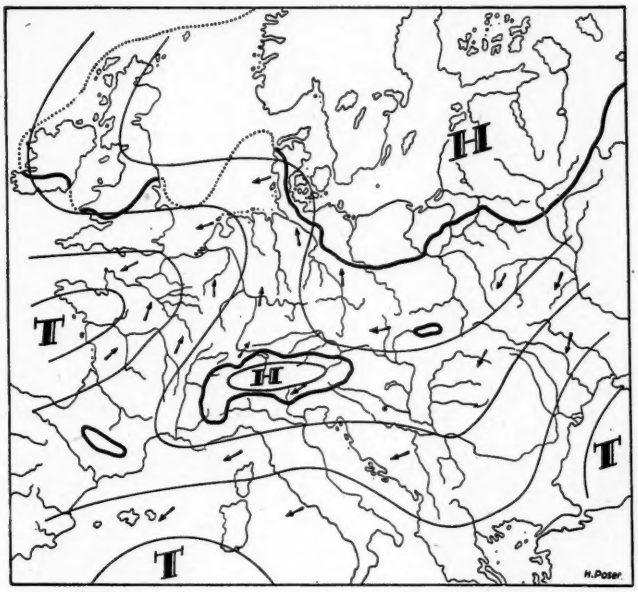


Fig. 4. Luftdruckverteilung und Windrichtungen über Europa im Winter der Würm-Eiszeit.

Kälte und der mit dieser verbundenen Herabsetzung der Verdunstung gewiß sehr viel trockener gewesen sein; aber daß es extrem trocken gewesen wäre, wie vielfach angenommen (24), ist ziemlich unwahrscheinlich. Denn im Sinne der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der Luftdruckverteilung am Boden und in der Höhe muß über dem ausgedehnten kontinentalen Boden-Hoch ein Höhen-Tief gelegen haben, das als Aktionszentrum Luft aus dem Bereich benachbarter Meeresräume anzog und damit Anlaß zur Niederschlagsbildung gab. Ohne Mitberücksichtigung auch dieses Vorganges läßt sich unter anderen — in Analogie zu den Darlegungen von Meinardus (25) für die Antarktis — kein volles Verständnis für die Ernährung des Inlandeises erlangen. Da das nicht vereiste Zentral-Mitteleuropa, ebenso auch Ost- und Südosteuropa mit unter dem Boden-Hoch lagen, ist anzunehmen, daß auch sie von dem durch die Höhenströmung veranlaßten Niederschlag empfingen. Er wird hier ausschließlich als Schnee gefallen sein. Ob dieser ausreichte, eine geschlossene Schneedecke zu bilden, läßt sich nicht sagen. Doch kann man sich leicht vorstellen, daß dieser Schnee infolge der tiefen Kältegrade, wie sie besonders in Zentral-Mitteleuropa herrschten, eine derart trocken-pulvrige Beschaffenheit hatte, daß schon mäßige Winde ihn durch Schneefegen umlagern konnten und dadurch Bodenblößen schufen, die hier die Frostzerrung begünstigten

und auch die äolische Abhebung und den äolischen Transport von feinem Bodenmaterial selbst im größeren Umfange möglich machten.

III. Schluß. Die Klimagebiete und Klimaprovinzen.

Die durch die vorliegende Studie gewonnenen Einzelergebnisse habe ich mit jenen der schon mehrfach zitierten früheren Untersuchung zu einer Klimagliederung benutzt, die in Fig. 5 festgehalten ist. Eine kurze Klimatographie mag sie erläutern.

Folgende Klimagebiete sind im nicht vereisten West- und Mitteleuropa zu unterscheiden: I. das Dauerfrostboden-Tundrenklima, beherrschend

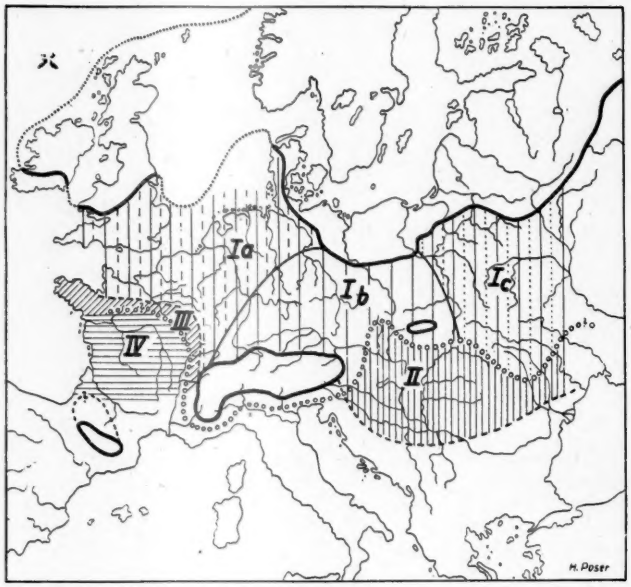


Fig. 5. Klimagebiete und Klimaprovinzen Mittel- und Westeuropas während der Würm-Eiszeit.

Grenze des Inlandeises
Äquatorialgrenze des Dauerfrostbodens
Polare Waldgrenze
I Dauerfrostboden-Tundrenklima:
I a Glazial-maritime Provinz — I b Zwischenglaziale Provinz
I c Glazial-kontinentale Provinz
II Kontinentales Dauerfrostboden-Waldklima
III Maritimes Tundrenklima ohne Dauerfrostboden
IV Maritimes Waldklima ohne Dauerfrostboden

den ganzen Tundrengürtel von Südengland und Nordfrankreich über Mitteleuropa nach Osteuropa, II. das Dauerfrostboden-Waldklima über dem nördlichen Balkan, besonders der Ungarischen Tiefebene, III. das schmale Tundrenklimagebiet ohne Dauerfrostboden über Ost- und Nordfrankreich, IV. das maritime Waldklima ohne Dauerfrostboden über Frankreich.

I. Das ausgedehnte Gebiet des Dauerfrostboden-Tundrenklimas ist einheitlich gekennzeichnet durch das Vorhandensein von Dauerfrostboden und einen so großen Mangel an Sommerwärme, daß Waldwuchs nicht mehr vorkommt. Im übrigen zerfällt es in drei Provinzen recht eigenen Charakters, deren Ausdehnung und Abgrenzung aus der Karte ersichtlich sind: in die glazial-maritime Provinz über dem nördlichen Westeuropa und Nordwest-Mitteleuropa, die zwischen-glaziale Provinz über Zentral-Mitteleuropa und die glazial-kontinentale Provinz über Osteuropa[4]).

a) Die glazial-maritime Provinz liegt das ganze Jahr über unter maritimem Einfluß, der sie nicht nur im Winter, sondern auch im Sommer im Vergleich zur Nachbarschaft zum Wärmegebiet macht. Die Winter sind kurz und weniger kalt. Die Frostzerrung ist mäßig. Temperaturschwankungen um 0° und kürzere Tauperioden sind wahrscheinlich häufig. Der Sommer ist gekennzeichnet durch eine lange Auftauperiode, also eine große Zahl von Monaten (mindestens sechs) mit positiver Mitteltemperatur; doch liegt das Juli-Mittel wohl noch wesentlich unter 10°. Das Gebiet wird während des ganzen Jahres von einem von SW heranreichenden Tiefdruckausläufer überlagert. Durch ihn herrschen westliche, namentlich südwestliche Winde vor und wird wandernden Depressionen der Zugang zum Kontinent geöffnet. Letztere bringen im Sommer wie im Winter dem Gebiet reichliche Niederschläge, möglicherweise ebensoviel wie heute.

b) Die zwischen-glaziale Provinz weist die größte Intensität der Frostzerrung und die geringste Auftautiefe auf. Sie ist während des ganzen Jahres der kälteste Raum im eisfreien Mitteleuropa. Die Januar-Mittel liegen unter — 14°, die Juli-Mittel nur wenige Grade über Null. Das Gebiet befindet sich ständig unter dem abkühlenden Einfluß der benachbarten Eisdecken, der im Winter noch durch den kontinental-kalten Einschlag verstärkt wird. Im Winter gehört diese Provinz dem großen Kontinental-Hoch an; im Sommer überlagert sie wohl oft eine Hochdruckbrücke, die das Alpen-Hoch im Süden mit dem Inlandeis-Hoch im Norden verbindet. Im ganzen Bereich wiegen während des ganzen Jahres südwestliche Winde vor mit Ausnahme des Gebietes östlich der Oder, wo Winde aus den östlichen Quadranten vorherrschen. Die Niederschläge sind im Sommer sehr reichlich, da in dieser Zeit das Gebiet Konvergenzraum ist für die Depressionen aus dem Westen und die *Vb*-Störungen aus dem Süden. Starke Bewölkung, hohe Bodenfeuchtigkeit und Schneefall hemmen dann die Bildung des Auftaubodens. Aber auch der Winter ist keineswegs extrem trocken, weil dann ein ausgeprägtes Höhen-Tief Anlaß zur Niederschlagsbildung geben kann. Verwehungen des durch tiefe Kältegrade pulvrigen Schnees schaffen jedoch Bodenblößen, durch die tiefe Frostzerrungen und äolischer Transport von feinem Bodenmaterial ermöglicht und begünstigt werden.

c) Über die glazial-kontinentale Provinz der Tundrenzone können mangels ausreichender Unterlagen noch keine präziseren Angaben gemacht werden. Das Gebiet hat das Jahr über kontinentalen Einschlag. Das Juli-Mittel der Temperatur liegt wahrscheinlich unter 10°, doch ist der Sommer wärmer als der des von den Eisdecken stärker beeinflußten Zentral-Mitteleuropas. Auch der Winter ist nicht so kalt. Doch ist das Januar-Mittel auch kleiner als in der Ungarischen Tiefebene, wo es noch wesentlich unter

[4]) In meiner ersten Studie äußerte ich die Vermutung, daß sich die Zone des Dauerfrostboden-Tundrenklimas nach dem Grade der Maritimität bzw. Kontinentalität gliedere, wobei Mitteleuropa ein Übergangsklima zwischen Ost und West gehabt habe. Die vorliegende Studie hat indes gezeigt, daß die Verhältnisse nicht ganz so liegen, indem Zentral-Mitteleuropa ein vornehmlich von den Eismassen her bestimmtes Klima hatte.

— 14° liegt. Im Winter befindet sich das Gebiet unter hohem, im Sommer etwa unter mittlerem Luftdruck, ist in beiden Jahreszeiten aber so im Isobarenfelde gelegen, daß nordöstliche bis östliche Winde durchaus die häufigsten sind. Über die Niederschläge ist ein klares Bild noch am wenigsten zu vermitteln. Sie dürften vor allem vom Mittelländischen Meer und Schwarzen Meer herrühren und vornehmlich im Sommer fallen.

II. Das Dauerfrostboden-Waldklima über der Ungarischen Tiefebene hat ausgeprägt kontinentalen Charakter. Für den Schnittpunkt von Waldgrenze und Dauerfrostbodengrenze sind von mir folgende Mitteltemperaturen abgeleitet worden (26):

J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
-14	-12	-8	-2	4	8	10	8	4	2	-8	-12

Im Innern dieses Klimabereiches ist aber der Winter wesentlich kälter und der Sommer um etwas wärmer als nach dieser Zahlenreihe. Im Winter ist das Gebiet dem glazial-kontinentalen Hoch einbezogen und hat dann in der Hauptsache östliche bis nordöstliche Winde. Im Sommer nimmt es ein Tief ein, so daß dann für die Osthälfte des Gebietes mehr südöstliche bis östliche, für die Westhälfte mehr nordöstliche bis nördliche Windrichtungen resultieren. Die Niederschläge sind im Sommer dank häufigen Durchzugs von *Vb*-Depressionen wahrscheinlich ziemlich hoch, höher vermutlich als in der Gegenwart, im Winter dagegen geringer, aber nicht fehlend.

III. Das maritime Tundrenklima ohne Dauerfrostboden nimmt einen zu schmalen Streifen ein, als daß sich wesentliche Einzeldaten angeben ließen. Es ist typisches Übergangsklima zwischen dem glazial-maritimen Dauerfrostboden-Tundrenklima einerseits und dem maritimen Waldklima andererseits. Mit dem einen hat es den Mangel an einer zum Baumwuchs ausreichenden Sommerwärme gemeinsam, mit dem anderen den für Dauerfrostbodenbildung zu wenig kalten Winter. Mit beiden verbinden es die ähnlichen Luftdruck-, Wind- und Niederschlagsverhältnisse.

IV. Das maritime Waldklima ohne Dauerfrostboden über Frankreich hat ein jahrein jahraus ozeanisches Gepräge. Mit Bezug auf die kälteren Gebiete im Osten davon wirkt es sich auch im Sommer als Wärmegebiet aus. Das Juli-Mittel wurde bereits als zwischen 10° und 12 bis 13°, das Januar-Mittel als zwischen 0° und 2 bis 3° gelegen bestimmt (27). Das ganze Jahr über in der Südhälfte eines von der Biskaya sich nach NO erstreckenden Tiefdruckausläufers befindlich, hat das Gebiet vorwiegend westliche bis südwestliche Winde und hierdurch sowie als Einfallstor ostwärts wandernder Depressionen reichlichen Niederschlag in allen Jahreszeiten. Südfrankreich hat ein hiervon abweichendes, bereits wärmeres Klima, wie der Gehalt an Pollen wärmebedürftiger Gewächse in den dortigen späteiszeitlichen Pflanzenablagerungen vermuten läßt.

Selbstverständlich ist diese Übersicht nur erst ein Versuch, ins Detail vorzuschreiten; und es bedarf weiterer Einzelstudien, die bisherigen Ergebnisse zu unterbauen und zu ergänzen. Vor allem wird es auch Aufgabe sein, aus dem starken maritimen Einschlag auf das eiszeitliche Klima von Teilen Europas und aus den relativ hohen Niederschlägen, für die beide immer wieder nachdrückliche Hinweise gefunden wurden, die nötigen Konsequenzen in morphologischer Hinsicht zu ziehen und auch die Frage der Schneegrenzen im Mittelgebirge und ihrer eiszeitlichen Senkung erneut zu untersuchen.

(Literaturverzeichnis auf S. 238 dieses Jahrganges.)

Eingegangen am 28. Oktober 1947.

Die Vitalfluorochromierung des Protoplasmas.

Von Siegfried Strugger[1]).

Herrn Professor Dr. Georg Tischler zu seinem 70. Geburtstag.

Seit den grundlegenden Untersuchungen W. Pfeffers (1886) (14) und seiner Schule wird von seiten der Biologen und Mediziner das Problem der Vitalfärbung des Protoplasmas bearbeitet. Das Studium der Aufnahme und Speicherung gefärbter Substanzen durch lebende Zellen ist einerseits wichtig für die Beobachtung der Zellstrukturen in vivo, andererseits ist aber auch die physiologische Forschung an dieser Arbeitsrichtung sehr interessiert. Die Theorie der Permeabilität und unsere Grundvorstellungen über die Aufnahme und Speicherung von Stoffen durch lebende Zellen fußen in wesentlichen Punkten auf den Erfahrungen solcher Vitalfärbungsexperimente.

Am leichtesten lassen sich an lebenden Zellen die Zellsafträume mit basischen Farbstoffen (Neutralrot) anfärben. Auch die Lipoidkomponenten des Plasmas sind einer Vitalfärbung mit basischen Farbstoffen leicht zugänglich. Dagegen ist es bis in die neuere Zeit hinein nicht gelungen, die Eiweißkomponenten des lebenden Protoplasmas ohne Störung des Zellenlebens anzufärben.

Das Gelingen einer optisch leicht nachweisbaren Einlagerung gefärbter Körper mit bestimmter Molekülgestalt in das Eiweißmicellargerüst des lebenden Protoplasmas ist für die Weiterentwicklung der experimentellen Zytologie und insbesondere für die Erforschung der submikroskopischen Plasmastruktur besonders wichtig. Die Voraussetzungen dafür lassen sich kurz in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Der Farbstoff soll leicht durch die Plasmagrenzschichten permeieren können.
2. Die Molekülgestalt des Farbstoffes muß den zur Einlagerung zur Verfügung stehenden submikroskopischen Plasmastrukturen sterisch adaequat sein, so daß der betreffende Farbstoff auch in das Eiweißgerüst des lebenden Protoplasmas einlagerungsfähig ist.
3. Die Dissoziationseigenschaften des Farbstoffes (Lage des Dissoziationsbereiches in Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration) müssen solcher Art sein, daß eine elektroadsorptive Bindung des Farbstoffes am Micellarsystem der Eiweißkörper möglich ist.
4. Der verwendete Farbstoff soll relativ ungiftig sein.
5. Die intraplasmatische Konzentration des Farbstoffes darf zur Vermeidung von Intoxikationen nicht zu hoch ansteigen. Die optische Nachweisempfindlichkeit in mikroskopisch dünnen Schichten soll aber trotzdem gewährleistet sein.

Organische Farbstoffe (Diachrome), wie sie bislang zur Lösung dieses Problems seit Pfeffer heran-

[1]) Vortrag, gehalten im vereinigten medizinisch-naturwissenschaftlichen Kolloquium der Universität Kiel am 2. Dezember 1947.

gezogen wurden, sind in mikroskopisch dünner Schicht nur in relativ hoher Konzentration nachzuweisen. Um mit Diachromen einen Vitalfärbeeffekt in Zellen zu erzielen, ist eine intraplasmatische Farbstoffkonzentration von 1 : 100 bis 1 : 1000 notwendig. Diese starke Speicherung eines Fremdkörpers im Protoplasma bedingt in allen bisher beobachteten Fällen eine toxische Wirkung, so daß derartig gefärbte Protoplasten nicht lange am Leben bleiben können. Deshalb ist das Problem der inturbanten Vitalfärbung des Protoplasmas mit Diachromen nicht lösbar.

Fluoreszierende Substanzen (Fluorochrome) bieten dagegen wesentlich günstigere Voraussetzungen. Wie mein Mitarbeiter Kölbel (1947) (11) durch vergleichende Messungen zeigen konnte, liegt die Empfindlichkeit des optischen Nachweises fluoreszierender Körper zwischen der geruchssinnlichen Wahrnehmbarkeit (etwa für Mercaptane) und der elektroskopischen Methode des Radioaktivitätsnachweises. Die intraplasmatische Konzentration vital gespeicherter Fluorochrome braucht infolgedessen nicht so hoch zu sein, um eine fluoreszenzmikroskopisch nachweisbare Plasmafärbung zu liefern. Im Fluoreszenzmikroskop können daher mikroskopisch dimensionierte Zellstrukturen als fluorochromiert erkannt werden, wenn sie das Fluorochrom im Verhältnis 1 : 5000 bis 1 : 50 000 gespeichert haben. Die Gefahr einer Intoxikation ist also beim Experimentieren mit Fluorochromen wesentlich herabgesetzt, und es zeigte sich, daß das Problem der intravitalen Färbung der Eiweißkomponenten des Protoplasmas mit Hilfe von Fluorochromen lösbar ist.

Es war nicht zu erwarten, daß alle Fluorochrome in gleicher Weise geeignet wären, das Plasma intra vitam zu färben. Wir haben in unserem Institut im Laufe von 10 Jahren zahlreiche fluoreszierende Substanzen mit mannigfaltigen physikalisch-chemischen Eigenschaften auf ihre Fähigkeit zur Vitalfärbung des lebenden Protoplasmas geprüft. Im wesentlichen konnten drei Gruppen von Fluorochromen gefunden werden, welche zum Molekülgefüge des lebenden Protoplasmas eine besonders ausgeprägte Affinität besitzen.

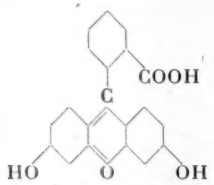


Fig. 1. Fluorescein.

Die erste Gruppe umfaßt die Xanthyliumsalze, von denen zunächst die Fluoresceinderivate erwähnt seien (vgl. Fig. 1). Schon Gicklhorn (1914, 1927) (7, 8), Küster (1926) (13), Albach (1927, 1928) (1, 2) und Strugger (1931) (22) wiesen auf die leichte Einlagerungsfähigkeit der Fluoresceinderivate in den lebenden Protoplasten hin. Für das Fluoresceinkalium konnten Schumacher (1933, 1936) (19, 20) und Döring (1935) (4) eine besonders gute Einlagerungsfähigkeit in das lebende Protoplasma beobachten. Das Kaliumfluorescein ist ein saurer, anodischer Farbstoff, welcher — wie Strugger (1938) (24) zeigen konnte — eine charakteristische Abhängigkeit der Aufnahme und Speicherung in lebenden Zellen vom *pH*-Wert des Farbbades erkennen läßt. Im sauren Bereich bis *pH* 4,5 wird das Fluoresceinkalium vom Protoplasten lebender Zellen aufgenommen und gespeichert. Im neutralen und alkalischen Bereich gelingt eine Vitalfluorochromierung des Protoplasten dagegen nicht. Die Mechanik der Speicherung der Fluoresceine im lebenden Protoplasma ist bis heute noch ungeklärt. Auch die Frage, ob hier eine Bindung an die Eiweißkomponenten des Zytoplasmas vorliegt, ist noch nicht entschieden. Für den Zellkern liegen Beobachtungen (24) vor, nach welchen das Kaliumfluorescein vornehmlich in der Karyolymphe homogen gespeichert wird. Es kann als wahrscheinlich angenommen werden, daß hier eine Speicherung an den Eiweißkomponenten stattfindet.

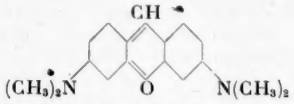


Fig. 2. Pyronin.

Ferner ist unter den Xanthyliumsalzen das Pyronin zu nennen (vgl. Fig. 2), ein basischer Farbstoff, welcher von Strugger (1941) (28) bearbeitet wurde. Das Pyronin ist ein zweifarbiger Fluoreszenzindikator, dessen hydrophile Kationen goldgelb fluoreszieren und sowohl im Modellversuch als auch in der lebenden Zelle von den Eiweißkomponenten elektroadsorptiv gespeichert werden. Die im extrem alkalischen Bereich auftretenden lipophilen Farbbasenmoleküle fluoreszieren azurblau und werden auf Grund ihrer starken Lösungsaffinität in den Lipoidkomponenten von Modellen und lebenden Zellen gespeichert. Auf Grund dieser physikalisch-chemischen Eigenschaften des Pyronins gelang es, erstmalig einen experimentellen Beweis für die intravitale Einlagerung eines Farbstoffes in die Eiweißsysteme des lebenden Protoplasmas zu erbringen.

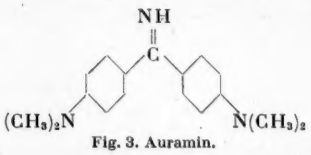


Fig. 3. Auramin.

Als zweiter Typus konnte das Auramin (30) aufgefunden werden. Dieses basische Fluorochrom (vgl. Fig. 3) lagert sich in ähnlicher Weise in das lebendige Protoplasma ein wie das Pyronin. Auch hier konnte der Beweis erbracht werden, daß die gelb fluoreszierenden Farbstoffkationen am Eiweißgerüst des lebenden Protoplasmas adsorbiert werden.

Die dritte Gruppe umfaßt die Akridine. Auch diese Fluorochrome sind kathodisch und zeichnen sich durchgehend dadurch aus, daß sie sehr rasch vom lebenden Protoplasma gespeichert werden. Die Giftigkeit der Akridinverbindungen ist aber sehr verschieden. Die Fluorochrome Trypaflavin, Rivanol und Atebrin verursachen besonders intensive toxische Wirkungen und sind daher für eine verfeinerte Methodik der Vitalfärbung lebender Protoplasten ungeeignet. Unter den übrigen Akridinverbindungen hat sich am besten zur Vitalfluorochromierung des Protoplasmas das Akridinorange bewährt (vgl. Fig. 4).

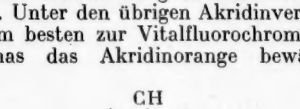


Fig. 4. Akridinorange.

Eine vergleichende Betrachtung der chemischen Struktur dieser Substanzen zeigt auf den ersten Blick, daß einige Züge in der Molekülgestalt allen vom Plasma leicht aufnehmbaren Vitalfarbstoffen

eigen sind. Das Molekül der Fluoresceinderivate ist zwar mit dem Pyronin als Xanthyliumsalz verwandt, doch kommt hier ein weiterer Ring zum Molekül hinzu. Schon bei der zellphysiologischen Analyse der Speicherung der anodischen Fluoresceinderivate fällt ein von den kathodischen Fluorochromen sehr unterschiedliches Speicherungsverhalten ins Auge, was zweifellos auf die entgegengesetzte elektrische Ladung der Fluoresceinanionen zurückzuführen ist. Die drei basischen Fluorochrome Pyronin, Auramin und Akridinorange sind in ihrer Molekülgestalt nahe verwandt. Ein Vergleich zwischen dem gleich gut aufnehmbaren Auramin und Pyronin ergibt, daß es für die Einlagerung gleichgültig ist, ob in der Mitte des Moleküls ein heterozyklischer Ring oder eine Brücke vorhanden ist, daß aber die Abstände der beiden seitlichen Ringe und die 3,6-Stellung der methylierten Aminogruppen wohl von Bedeutung sind. Dies gilt auch für das Akridinorange. Es handelt sich hier um die ersten gewonnenen Anhaltspunkte zur weiteren Klärung des Zusammenhanges zwischen Molekülgestalt und Einlagerungsfähigkeit einer Substanz in das lebende Protoplasma. Es ist zu hoffen, daß aus diesen Grundlagen weitere Anregungen für zukünftige Arbeiten gegeben werden. Auch der Chemotherapeutiker ist an diesen Problemen interessiert.

Das 3,6-Tetramethyldiaminoakridin (Akridinorange) wurde im Jahre 1940 unabhängig voneinander von Bukatsch und Haitinger (3) und von Strugger (25) zur Fluorochromierung empfohlen. Die erste planmäßige zellphysiologische Analyse der Fluorochromierung lebender Pflanzenzellen mit Akridinorange lieferte Strugger (1940) (25). Seit diesen ersten Beobachtungen wurde die Akridinorange-Fluorochromierung des lebenden Protoplasmas von uns einer planmäßigen und möglichst quantitativen Bearbeitung unterzogen. Über den augenblicklichen Stand dieser Untersuchungen soll im folgenden kurz berichtet werden.

Das 3,6-Tetramethyldiaminoakridin ist ein basischer (kathodischer) Farbstoff, dessen Dissoziationskurve mit Hilfe der kolorimetrischen Methode (11) bestimmt wurde (vgl. Fig. 5). Eine Akridinorangelösung ist im gesamten sauren Bereich bis *pH* 6 vollständig dissoziiert. Zwischen *pH* 6 und dem extrem alkalischen Bereich erfolgt ein gleichförmiger Abfall der Dissoziation bis auf 0. Dann liegt die molekulare Farbbase in wäßriger Lösung vor. Im Zusammenhang mit der Dissoziationskurve ändern sich sowohl die Farbeigenschaften im durchfallenden Licht als auch besonders die Fluoreszenzeigenschaften. Schon Jensen (1933) (9) konnte zeigen, daß das Akridinorange ein einfarbiger Fluoreszenzindikator ist und empfahl den Umschlag vom schwachen Grün im dissoziierten und starken Grün im undissoziierten Zustand für die Titration gefärbter Flüssigkeiten. Ein sehr hervorstechendes Merkmal dissoziierter Akridinorangelösungen ist die von Strugger (1940) (25) beschriebene Abhängigkeit der Fluoreszenzfarbe von der Konzentration einer wäßrigen Lösung (Konzentrationseffekt). Dissoziierte Akridinorangelösungen 1 : 10000 fluoreszieren in grüner Fluoreszenzfarbe, konzentriertere Lösungen (1 : 1000) fluoreszieren stark gelbgrün und sehr konzentrierte Akridinorangelösungen (1 : 100) fluoreszieren kupferrot bis blutrot. Molekulare Lösungen der Farbbase dagegen weisen diesen Konzentrationseffekt nicht auf. Über die Ursache dieser Erscheinung läßt sich heute noch nichts sicheres aussagen. Strugger (1940) (25) hat die Vermutung geäußert, daß hier eine Parallele zu dem von Scheibe (1938, 1939) (16, 17, 18) aufgefundenen Verhalten der Pseudo-Isocyanine vorliegt (reversible Polymerisation). Es gehört schließlich noch zur allgemeinen Charakterisierung des Akridinorange, die besondere Einlagerungsfähigkeit dieses Farbstoffes in das lebende Protoplasma nochmals hervorzuheben. Unsere vieljährigen Untersuchungen an den verschiedenartigsten Organismen zeigten, daß diese leichte Einlagerungsfähigkeit von keinem anderen bisher bekannten Vitalfarbstoff auch nur annähernd erreicht wird. Das 3,6-Tetramethyldiaminoakridin kann somit als *der* Plasmavitalfarbstoff bezeichnet werden.

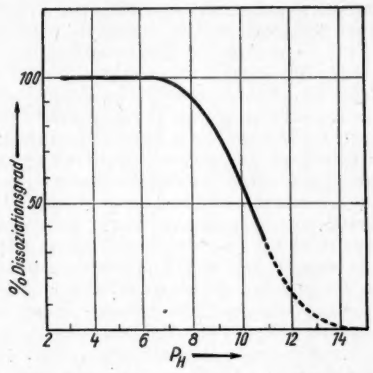


Fig. 5. Die Dissoziationskurve des Akridinorange, bestimmt durch kolorimetrische Messung der Farbtiefe. Der ausgezogene Teil der Kurve ist ausgemessen, während der gestrichelte Teil theoretisch ergänzt ist. (Nach Kölbel 1947.)

Zunächst wurde die *pH*-Abhängigkeit der Fluorochromierung lebender und toter Metaphytenzellen am Beispiel der oberen Epidermis der Zwiebelschuppe von *Allium cepa* analysiert (25, 35). Die Resultate sind in untenstehender Tabelle auszugsweise niedergelegt. Die Akridinorangekonzentration betrug 1 : 10 000, die Färbedauer 15 Minuten.

Das Verhalten der Zellmembranen fügt sich in das gewohnte Bild, wie wir es vom Neutralrot kennen (vgl. 23), ein. Um *pH* 3 ist die Zellulose elektrisch weitgehend entladen und läßt nur eine Imbibition

	Lebend					Tot			
pH	Membran	Zytoplasma	Kern	Vakuole	Bemerkungen	Membran	Zytoplasma	Kern	Bemerkungen
2,68	++ gelbgrün	—	—	—	—	++ gelblich	+++ gelbgrün	+++ kupferrot	Zytoplasma Stich ins Rötliche häufig
4,74	++++ kupferrot	—	+ grün	—	keine Vakuolenkontraktion	+++ kupferrot	+++ kupferrot	++++ kupferrot	—
6,50	++++ kupferrot	+ grün	++ grün	+ schwach rötl. grün	Vakuolenkontraktion	++ kupferrot	+++ kupferrot	++++ kupferrot	—
8,02	+ grün	+++ grün	++++ gelbgrün	++++ kupferrot	Vakuolenkontraktion	—	++ kupferrot fahl	++++ gelbgrün	Kern zur Rotfärbung befähigt, aber erst an der Peripherie rot. Stark gequollen.

durch das Akridinorange in grüner Fluoreszenzfarbe erkennen, während bei höheren *pH*-Werten, solange der Farbstoff dissoziiert ist, eine kräftige Kationenadsorption an der kupferroten Fluoreszenzfarbe der Zellmembranen beobachtbar ist. Sowohl das lebende als auch das tote Protoplasma vermag das Akridinorange zu speichern. Während das tote Protoplasma unterhalb des maßgeblichen IEP_M der Eiweißkörper in grüner Fluoreszenzfarbe leuchtet, wird oberhalb des IEP_M eine starke Elektroadsorption erzielt, deren Folge das Auftreten einer kupferroten Fluoreszenzfarbe ist. Das lebende Protoplasma speichert dagegen im extrem sauren Bereich nicht, wohl aber ist zwischen *pH* 4 und 5 im Plasma und im Kern das rasche Auftreten einer grünen Vitalfluorochromierung zu beobachten. Diese Vitalfluorochromierung bleibt grün und verstärkt sich mit abnehmender Azidität der Farblösung noch beträchtlich. Eine kupferrote Fluoreszenz ist am lebenden Protoplasma selbst nach stunden- und tagelanger Überfärbung in konzentrierten Farbbädern nicht zu erzielen.

Das lebende Protoplasma vermag sonach nur eine beschränkte Menge der Akridinorangekationen zu binden, während das tote Protoplasma den Farbstoff in großer Menge elektroadsorptiv speichert und daher in kupferroter Fluoreszenzfarbe erstrahlt. Auf Grund dieses Konzentrationseffektes ist mit Hilfe der Akridinorange-Fluorochromierung eine sichere Methode gegeben, um lebendes von totem Protoplasma unter Einhaltung bestimmter Bedingungen (*pH*-Bereich zwischen *pH* 5 und 7,5, Färbung im Farbstoffüberschuß, keine extreme Aufquellung des Protoplasmas durch Laugen, konzentrierte Säuren oder andere Einflüsse, welche zur vollständigen Peptisierung des Protoplasmas führen) auf experimentellem Wege zu unterscheiden. Nicht nur die Extreme Lebend und Tot lassen sich mit dieser Methode analysieren, sondern unsere Erfahrungen haben eindeutig gezeigt, daß das Auftreten gelber, orangegelber und orangeroter Farbtöne dazwischenliegende Schädigungsstadien des Protoplasmas nekrotischer Natur anzeigt. Die Empfindlichkeit der Akridinorangemethodik geht so weit, daß an Metaphytenprotoplasten mechanische, streng lokalisiert angesetzte Insulte (Quetschen mit der Mikronadel des Mikromanipulators) durch eine ins Rötliche veränderte, streng lokalisiert auftretende sekundäre Fluoreszenz nach Akridinorangefärbung sichtbar werden. Schon eine mechanische Deformation des Eiweißmicellargerüstes im Protoplasma wird durch diese Vitalfärbungsmethode eindeutig beobachtbar.

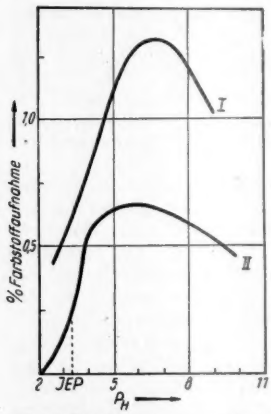


Fig. 6. Die Akridinorangespeicherung in der Abhängigkeit vom *pH*-Wert. I. Zellulose, II. Gelatine. Konzentration des Farbstoffes $c = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ Mol/lit. Ordinate: Prozentsatz der Farbstoffspeicherung in % des Gewichtes der eingefärbten Substanz. (Nach Kölbel 1947.)

Das Verhalten der Zellsafträume schließt sich eng an die Erfahrungen mit Neutralrot an (vgl. 23).

Nachdem qualitative Versuche an Modellen durchgeführt wurden (25), verfeinerte Kölbel (1947) (11) diese Befunde durch quantitative Messungen. Das Ergebnis der kolorimetrisch ermittelten *pH*-Abhängigkeit der Speicherung des Akridinorange durch Zellulose und Gelatine ist in Fig. 6 niedergelegt. Die Kurven belegen in eindeutiger Weise die von Strugger (1940) (25) ausgesprochene theoretische Auffassung über die elektroadsorptive Natur der Bindung des Akridinorange an Zellulose und an Eiweißkörpern.

Für quantitative kolorimetrische Untersuchungen der Akridinorangespeicherung an lebenden und toten Zellen hat sich die Hefe als besonders geeignetes Versuchsmaterial erwiesen. Strugger (1943) (31) stellte fest, daß die Gesetzmäßigkeit der Aufnahme und Speicherung des Akridinorange bei Hefezellen nicht abweichend ist gegenüber den Befunden an höheren Pflanzenzellen. Vital fluorochromierte Hefezellen wurden isoliert und in Mikrokulturen im Vergleich zu Kontrollen zur Entwicklung gebracht. Es zeigte sich, daß Hefezellen mit vital fluorochromierten Plasma und Zellkernen (Grünfluoreszenz!) sich normal weiterentwickeln können, während Hefezellen mit kupferrot fluorochromierten Protoplasten in solchen Versuchen nicht mehr zum Wachstum gebracht werden konnten. Der Zellkern, welcher bei Hefezellen intra vitam entweder überhaupt nicht oder nur höchst unsicher zu erkennen ist, hebt sich im vital gefärbten Zustand im Fluoreszenzmikroskop sehr deutlich hervor. In besonders günstig gelagerten Fällen konnten sogar die Chromosomenaequivalente intra vitam beobachtet werden. An Hefesuspensionen durchgeführte quantitative Untersuchungen über den Verlauf der Akridinorangespeicherung (11) lieferten wertvolle Grundlagen zum weiteren Ausbau der Theorie der Vitalfärbung. Zunächst wurde der quantitative Verlauf der Speicherung in der Abhängigkeit von der Färbezeit bei lebenden und toten Hefesuspensionen ausgemessen (vgl. Fig. 7). Das Akridinorange wird von lebenden Hefezellen innerhalb der ersten Minute sehr schnell gespeichert. Im Verlauf einer längeren Färbedauer nehmen zwar die Hefezellen noch etwas Farbstoff auf, doch ist diese Aufnahme im Verhältnis zur anfänglichen recht unbedeutend. Die mengenmäßig beschränkte Aufnahme lebender Zellen steht im schroffen Gegensatz zur wesentlich höheren Farbstoffaufnahme durch tote Hefezellen. Tote Hefesuspensionen speichern augenblicklich die maximale Menge des Farbstoffes. Bei längerer Färbedauer ist eine ganz unbedeutende weitere Aufnahme von Akridinorange noch messend festzustellen. Daraus geht hervor, daß eine Unterscheidung lebender und toter Protoplasten schon nach relativ kurzer Färbedauer — unter der Voraussetzung eines Farbstoffüberschusses im Farbbad — exakt möglich ist. Strugger (1948) (35) unternahm eine fluoreszenzmikroskopische quantitative Prüfung des Lebenszustandes einer Hefesuspension bei einstündiger Dauerfärbung in überschüssiger Akridinorangelösung. Der Prozentsatz der plasmatisch grün fluoreszierenden, also lebenden Hefezellen änderte sich in einem Farbbad von Akridinorange 1 : 5000 in Leitungswasser innerhalb einer Färbedauer von 1 Stunde nicht. Daraus kann der Schluß gezogen

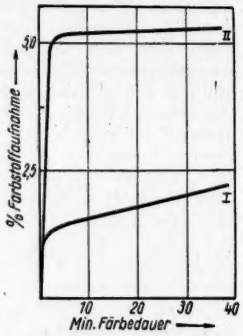


Fig. 7. Der quantitative Verlauf der Akridinorangespeicherung durch lebende (I) und tote (II) Hefezellen. Abszisse: Färbedauer in Minuten. Ordinate: Prozent der aufgenommenen Farbstoffmenge bezogen auf das Gewicht der eingefärbten Hefe. (Nach Kölbel 1947.)

werden, daß das Akridinorange selbst und das gebotene Milieu der Lösung keine Intoxikation der Hefezellen hervorzurufen imstande waren. Durch diese Paralleluntersuchungen haben auch die Befunde Kölbels (11) noch eine stärkere Beweiskraft erhalten. Kölbel (11) konnte durch kolorimetrische Messungen auch die Größenordnung der Menge des gespeicherten Akridinorange in einer Hefezelle fest-

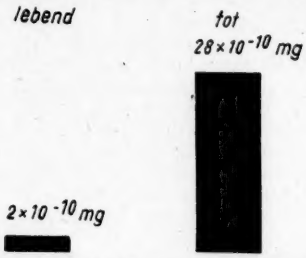


Fig. 8. Graphische Darstellung der von einer lebenden und einer toten Hefezelle gespeicherten Akridinorangemenge. (Nach Kölbel 1947.)

legen. Das obenstehende Diagramm (Fig. 8) zeigt die Quantität der aufgenommenen Akridinorangemenge durch eine lebende und eine tote Hefezelle bei sonst gleichen Bedingungen. Eine Auswertung dieser Messungen ergab den größenordnungsmäßig zu verstehenden Wert der Akridinorangespeicherung durch eine lebende Hefezelle von $4{,}6 \cdot 10^8$ Molekülen Akridinorange und durch eine tote Hefezelle von $6{,}4 \cdot 10^9$ Molekülen Akridinorange. Quantitative Studien über die *pH*-Abhängigkeit der Akridinorangespeicherung an lebenden und toten Hefezellen ließen eine charakteristische Verschiebung der Speicherungskurven in den sauren Bereich beim Absterben erkennen. Kölbel (1947) (11) vertritt die Auffassung, daß der IEP_M der Plasmaeiweißkörper beim Absterben in den sauren Bereich verschoben wird, was beim Zerfall von komplexen Verbindungen eventuell denkbar wäre.

Bemerkenswerte Ergebnisse erbrachten mikrokataphoretische Untersuchungen an ungefärbten und vital fluorochromierten Hefezellen (11). Ungefärbte Hefezellen wandern auf Grund ihrer elektronegativen Oberflächenaufladung (Zellmembranen!) in allen *pH*-Bereichen zur Anode. Eine Beziehung zum IEP_M der Eiweißkörper des Protoplasmas ließ sich sonach am ungefärbten Material im elektrischen Gleichstromfeld nicht erkennen. Wird dagegen das Hefematerial vor dem kataphoretischen Versuch mit Akridinorange fluorochromiert, so wird die Ladung der Zellmembranen durch die Akridinorangekationenadsorption vollkommen abgesättigt. Für den Sinn der kataphoretischen Wanderung der Hefezellen im Gleichstromfeld ist dann allein die elektrische Ladung der Eiweißkörper des Protoplasmas maßgeblich. Vital fluorochromierte Hefezellen wandern daher im sauren Bereich bis zum IEP_M des Protoplasmas (*pH* 6,2) zur Kathode und nach dem Überschreiten des IEP_M, in welchem ein Bewegungsstillstand festzustellen ist, zur Anode. Wenn auch ein Teil der Ladungsqualitäten der Plasmaeiweißkörper durch die Vitalfärbung mit Akridinorange neutralisiert wird, so scheint aus sterischen Gründen keine totale Absättigung der elektrischen Ladung der Plasmaeiweißkörper durch den Vitalfarbstoff zu erfolgen, sonst wäre das beobachtete Ergebnis nicht verständlich.

Durch die quantitativen Befunde ist auch die Ursache für die verschiedene sekundäre Fluoreszenz des lebenden und toten Protoplasten geklärt. Das lebende Protoplasma besitzt sonach nur eine beschränkte Einlagerungsfähigkeit für die Akridinorangekationen. Es ist ein hoch geordnetes, aber stark geschlossenes System. Mit dem Absterben tritt gleichzeitig eine Denaturierung der Eiweißkörper ein. Das wohlgeordnete Eiweißmicellargerüst wird irreversibel zerstört und das daraus resultierende Koagel ist im Hinblick auf sein Adsorptionsvermögen für Kationen ein offenes System. Somit zeigt die Akridinorangefluorochromierung gerade diejenigen strukturellen Veränderungen des Protoplasmas an, welche für das Absterben des Systems „Protoplasma" charakteristisch sind.

Die methodische Auswertung der intravitalen Akridinorangefluorochromierung des Protoplasmas ist inzwischen recht vielseitig geworden. Alle lebenden Pflanzen- und Tierzellen sind bei möglichst vorsichtiger Dosierung des Fluorochroms in ihren lebenswichtigsten Bestandteilen (Kern, Zytoplasma) vital fluorochromierbar. Diese Methode wurde daher bei zytologischen Untersuchungen an lebenden Zellen angewandt (25, 26, 27). Im lebenden Zellkern wird eine Fluorochromierung der Chromomeren erzielt. Dies kam besonders schön an den Speicheldrüsenchromosomen von *Drosophila*-Larven zum Ausdruck, wo ich eine verstärkte Fluorochromierung der thymonukleinsäurehaltigen Querscheiben gegenüber den Zwischenscheiben feststellen konnte. Die Struktur scheinbar homogener Kerne kann durch die Vitalfluorochromierung mit Akridinorange aufgeklärt werden. An den Staubfadenhaarzellen von *Tradescantia virginica* (27) konnte der Ablauf der Kern- und Zellteilung bis zur Restitution der Ruhekerne am vital gefärbten Material verfolgt werden. Dabei sind insbesondere die Chromosomen in gelbgrüner Fluoreszenzfarbe zu beobachten. Auch zur zytologischen Analyse von Hefezellen (31) und Trypanosomen (33) ließ sich die Vitalfluorochromierung mit Akridinorange mit Vorteil verwenden. Die Weiterkultur vital gefärbter Zellen gelang an Protophyten. Für *Didymium nigripes* und für Hefen wurden solche Versuche mit Erfolg durchgeführt (26, 31). Johannes (1947) (10) analysierte den Pilz *Phycomyces Blakesleeanus* mit Hilfe der Akridinorangefluorochromierung. Die Kernstruktur und die Kernverteilung waren in den Hyphen intra vitam klar zu erkennen. Dabei wächst der Pilz unter Einhaltung bestimmter Versuchsbedingungen normal weiter. Dieser Fortschritt dürfte für weitere zytologische Forschungen an Pilzen sicherlich bedeutungsvoll sein. Die vital fluorochromierten *Phycomyces*-Mycelien wuchsen ausgezeichnet und bildeten Sporangien und Zygoten.

Die relative Ungiftigkeit des Akridinorange wurde von Strugger und Rosenberger (1944) (37) an den Spermatozoen des Ziegenbockes geprüft. Vital gefärbte Spermatozoen ließen in vitro im Vergleich zu Kontrollen kein Nachlassen der Beweglichkeit erkennen. Künstliche Besamungsversuche an 35 Mutterziegen, welche mit vital fluorochromierten Spermatozoen, deren Zellkerne und Zytoplasma stark fluorochromiert waren, durchgeführt wurden, ergaben eine normale Nachkommenschaft. Damit ist es wohl experimentell erwiesen, daß die Vitalfluorochromierung des Kernes und des Zytoplasmas mit Akridinorange keine tiefgreifenden Störungen des Lebenszustandes hervorruft.

Krebs (1944) (12) konnte die Akridinorange-Vitalfärbung mit Erfolg zur Erforschung der α-Strahlenwirkung auf lebende Zellen verwenden.

Kürzlich berichtete Asher (1947)[2]) auf der Physiologentagung in Bonn über seine Versuche zur

[2]) Briefliche Mitteilung.

Vitalfluorochromierung ganzer höherer Tiere (Frösche und Mäuse) mit Akridinorange. Wird das Fluorochrom den Tieren durch Injektion verabreicht, so tritt über den Weg des Blutkreislaufes eine Vitalfluorochromierung aller Zellen des Tieres ein. Die Gehirnzellen, Nervenzellen, Muskelzellen, die Zellen aller Organe und die Geschlechtszellen sind so stark fluorochromiert, daß sie unter dem Fluoreszenzmikroskop eine kräftige Färbung des Zytoplasmas und der Zellkerne erkennen lassen. Diese Experimente Ashers sind ein weiterer Beweis für die außerordentliche Affinität des Akridinorange zum lebenden Protoplasma. Andere Fluorochrome werden nämlich sehr schnell durch die Exkretionsorgane ausgeschieden (man vergleiche Ellinger und Hirt 1930)(5).

Strugger (1942) (29), Strugger und Hilbrich (1942) (36), Strugger (1943, 1948) (29, 35) bauten die Vitalfluorochromierung der Bakterienzelle mit Akridinorange methodisch aus. Sowohl die zytologische Struktur der Bakterien als auch ihr Lebenszustand können mit dieser neuen Methodik beurteilt werden. Schleimhüllen, andere derbere Membranbildungen, die Verteilung des Zytoplasmas, Inhomogenitäten im Zytoplasma und die Verteilung von Vakuolen sind im Fluoreszenzmikroskop an der lebenden Bakterienzelle klar zu sehen. Da sowohl die Zellmembranen der Bakterien als auch die Protoplasten mit Akridinorange fluorochromiert werden, ist auch eine Beobachtung der Plasmolyseerscheinungen an Bakterienzellen ermöglicht worden. Die Unterscheidung lebender und toter Zellen mit Hilfe der Akridinorangefluorochromierung wurde an den verschiedensten Bakterienformen geprüft. Es stellte sich heraus, daß die Akridinorangemethode zur Unterscheidung lebender und toter Bakterienzellen verläßlich auf alle gramnegativen Bakterien und auf *Mycobacterium tuberculosis* anwendbar ist. Nachdem schon von Gärtner (1943) (6) und von Stickl und Gärtner (1943) (21) darauf hingewiesen wurde, daß die Akridinorangemethode bei grampositiven Bakterien nicht immer verläßliche Ergebnisse zur Unterscheidung lebender und toter Bakterienzellen liefert, konnte Strugger (1948) (35) auch die Ursache für dieses abweichende Verhalten experimentell festlegen. Bei den grampositiven Bakterien sind nämlich die Membranen recht derb entwickelt. Sie speichern auch an lebenden Bakterienzellen die Akridinorangekationen so stark, daß eine Beobachtung der grünen Plasmafluoreszenz aus optischen Gründen nicht möglich ist. Strugger (35) konnte an grampositiven Kokken durch Behandlung mit dem fluoreszenzlöschenden Wasserblau die sekundäre Rotfluoreszenz der Membranen löschen und auf diese Weise die grüne Plasmafluoreszenz der lebenden Kokken nachweisen. Das grob disperse Wasserblau vermag nämlich nicht in den lebenden Protoplasten einzudringen. Damit ist die Auffassung Gärtners (1943) (6), nach welcher das lebende Protoplasma grampositiver Bakterienzellen mit Akridinorange kupferrot fluorochromierbar sei, experimentell widerlegt. Es war auch vom allgemein biologischen Standpunkt aus höchst unwahrscheinlich, daß es lebendes Protoplasma in der Natur gäbe, welches einen Vitalfarbstoff im Verhältnis 1 : 100 elektroadsorptiv binden könnte.

Die Möglichkeit, an Tuberkelbazillen eine klare Diagnose ihres plasmatischen Lebenszustandes mit Hilfe der Akridinorangefluorochromierung durchzuführen, wird als Hilfsmethode in der Tuberkuloseforschung sicherlich von Bedeutung sein.

Schließlich hat die Akridinorangefluorochromierung durch Rouschal und Strugger (1943) (15) und Strugger (1947, 1948) (34, 35) noch eine Anwendung in der Bodenbakteriologie gefunden. Böden, welche mit Akridinorange bis zur adsorptiven Sättigung eingefärbt wurden, ergeben unter dem Fluoreszenzmikroskop ein aufschlußreiches Bild. Die Humussubstanzen, welche als Flocken, Krümel oder in Form von Adsorbatschichten um die Mineralteilchen vorliegen, leuchten infolge der starken elektroadsorptiven Bindung der Farbstoffkationen stark kupferrot. Die auf den Humuspartikelchen angelagerten Einzelbakterien, Bakteriengruppen und Zooglöen leuchten auf diesem roten Untergrund grün. Dadurch ist es möglich geworden, die autochtone Bodenbakterienflora im Boden selbst mikroskopisch zu untersuchen. Es wurde auch ein Zählungsverfahren mit Hilfe dieser Methode ausgearbeitet. Das bisher geübte Plattenzählverfahren zur Ermittlung der Bodenkeimzahlen liefert viel zu geringe Werte. Die Größenordnung der Keimzahlenwerte, welche mit dem fluoreszenzoptischen Verfahren gewonnen wurden, liegen bei normalen, besseren Böden zwischen 2 und 8 Milliarden Keimen pro Gramm Boden Trockengewicht. Bemerkenswert ist die Feststellung, daß die autochtonen Bodenbakterien in ihrer Hauptmasse außerordentlich klein sind (0,5—1 μ).

Die fluoroskopische Analyse der autochtonen Bakterienflora des Erdbodens entspricht den Anforderungen, welche Winogradsky (1925, 1928, 1929) (38, 39, 40) an eine mikroskopisch-bakteriologische Untersuchung des Erdbodens stellte.

Eingegangen am 10. Januar 1948.

Literatur.

(1) Albach, W., Über vitale Kern- und Protoplasmafärbung pflanzlicher Zellen. Z. wiss. Mikr. u. mikr. Techn. **44**, 333 (1927). — (2) Albach, W., Zellenphysiologische Untersuchungen über vitale Protoplasmafärbung. Protoplasma **5**, 412 (1928). — (3) Bukatsch, Fr. u. Haitinger, M., Beiträge zur fluoreszenzmikroskopischen Darstellung des Zellinhaltes, insbesondere des Zytoplasmas und des Zellkernes. Protoplasma **34**, 515 (1940). — (4) Döring, H., Versuche über die Aufnahme fluoreszierender Stoffe in lebende Pflanzenzellen. Ber. Dtsch. Bot. Ges. **53**, 415 (1935).— (5) Ellinger, H. W. und Hirt, A., Eine Methode zur Beobachtung lebender Organe mit stärksten Vergrößerungen im Lumineszenzlicht (Intravitalmikroskopie). Abderhalden, Handb. d. biol. Arb. Meth. Abt. V, Teil 2/2, 1753 (1930). — (6) Gärtner, K., Ein Beitrag zur Färbbarkeit der lebenden und toten Bakterienzelle. Z. f. Hyg. **125**, 86 (1943). — (7) Gicklhorn, J., Über den Einfluß photodynamisch wirksamer Farbstofflösungen auf pflanzliche Zellen und Gewebe. Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, math. naturwiss. Kl. **123**, 1221 (1914). — (8) Gicklhorn, J., Über vitale Kern- und Plasmafärbung an Pflanzenzellen. Protoplasma **2**, 1 (1927). — (9) Jensen, K. A., Einige neue fluoreszierende Indikatoren. Z. analyt. Chemie **94**, 177 (1933). — (10) Johannes, H., Die Vitalfärbung von Phycomyces Blakesleeanus mit Akridinorange. Im Druck. — (11) Kölbel, H., Quantitative Untersuchungen über die Farbstoffspeicherung von Akridinorange in lebenden und toten Hefezellen und ihre Beziehungen zu den elektrischen Verhältnissen der Plasmaeiweißkörper. Z. f. Naturforsch. **2b**, 382 (1947). — (12) Krebs, A., Über Verwendbarkeit der Struggerschen Akridinorange-Vitalfärbung für strahlenbiologische Probleme. Strahlentherapie **75**, 346 (1944). — (13) Küster, E., Über vitale Protoplasmafärbung. Z. wiss. Mikr. **43**, 378 (1926). — (14) Pfeffer, W., Über Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. Untersuchungen aus dem Botanischen Institut zu Tübingen, Bd. II, 179 (1886). Verlag Engelmann, Leipzig. — (15) Rouschal, Chr. und Strugger, S., Eine neue Methode zur Vitalbeobachtung der Mikroorganismen im Erdboden. Naturwiss. **31**, Heft 25/26 (1943). — (16) Scheibe, G., Reversible Polymerisation als Ursache neuartiger Absorptionsbanden von Farbstoffen. Kolloid-Z. **82**, 1 (1938). — (17) Scheibe, G., Die reversible Polymerisation von Farbstoffen, ein Zustand mit neuen Eigenschaften. Ber. d. Phys.-Med. Ges. Würzburg **63**, 15 (1939). — (18) Scheibe, G., Die Stereoisomerie organischer Farbstoffe und ihr Zusammenhang mit Konstitution und Eigenschaften reversibel polymerer Farbstoffe. Angew. Chem. **52**, 631 (1939). — (19) Schumacher, W., Untersuchungen über die Wanderung des Fluoreszeins in den Siebröhren. Jb. wiss. Bot. **77**, 685 (1933). — (20) Schumacher, W., Untersuchungen über die Wanderung des Fluoreszeins in den Haaren von Cucurbita pepo. Jb. wiss. Bot. **82**, 507 (1936). — (21) Stickl, O. und Gärtner, K., Die Wirkungsweise der Sulfonamide und ihre chemotherapeutische Anwendung bei Ruhr. Z. f. Hyg. **125**, 226 (1943). — (22) Strugger, S., Zur Analyse der Vitalfärbung pflanzlicher Zellen mit Erythrosin. Ber. Dtsch. Bot. Ges. **49**, 453 (1931). — (23) — Beiträge zur Analyse der Vitalfärbung pflanzlicher Zellen mit Neutralrot. Protoplasma **26**, 56 (1936). — (24) —, Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen über die Speicherung und Wanderung des Fluoreszeinkaliums in pflanzlichen Geweben. Flora **132**, 253 (1938). — (25) —, Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen über die Aufnahme und Speicherung des Akridinorange durch lebende und tote Pflanzenzellen. Jenaische Z. f. Naturwiss. **73**, 97 (1940). — (26) —, Die Kultur von Didymium nigripes aus Myxamöben mit vital gefärbtem Plasma und Zellkernen. Z. wiss. Mikr. u. mikr. Techn. **57**, 415 (1940). —

(27) —, Die Vitalfärbung der Chromosomen. Dtsch. Tierärztl. Wschr. **48**, 645 (1940). — (28) —, Zellphysiologische Studien mit Fluoreszenzindikatoren. I. Basische, zweifarbige Indikatoren. Flora **35**, 100 (1941). — (29) —, Neues über die Fluoreszenzfärbung toter und lebender Bakterien. Dtsch. Tierärztl. Wschr. **50**, 51 (1942). — (30) —, Über die Aufnahme und Speicherung des Auramins durch lebende Pflanzenzellen. Protoplasma **37**, 429 (1943). — (31) —, Untersuchungen über die vitale Fluorochromierung der Hefezelle. Flora **37**, 73 (1943). — (32) —, Zum heutigen Stand der Akridinorangefärbung lebender und toter Bakterien auch für die Milchuntersuchung. Z. f. Fleisch- und Milchhyg. **54**, 161 (1943). — (33) —, Der fluoreszenzmikroskopische Nachweis von Trypanosomen im Blute. Dtsch. Tierärztl. Wschr. **54**, 161 (1947). — (34) —, Fluorescence microscope examination of bacteria in soil. Canad. J. Research, December (1947). — (35) —, Fluoreszenzmikroskopie und Mikrobiologie. Verlag M. & H. Schaper, Hannover (im Druck) (1948). — (36) Strugger, S. und Hilbrich, P., Die fluoreszenzmikroskopische Unterscheidung lebender und toter Bakterienzellen mit Hilfe der Akridinorangefärbung. Dtsch. Tierärztl. Wschr. **50**, 121 (1942). — (37) Strugger, S. und Rosenberger, G., Vitalfärbung der Ziegenspermatozoen mit Akridinorange. Dtsch. Tierärztl. Wschr. und Dtsch. Tierärztl. Rundschau 39/40 u. 52/50 (1944). — (38) Winogradsky, S., Etudes sur la microbiologie du sol. I. Ann. Inst. Pasteur **39**, 299 (1925). — (39) —, Begriff der „autochtonen" Mikroorganismenflora. C. r. Acad. Sci. Paris **187**, 161 (1928). — (40) —, Etudes sur la microbiologie du sol. II. Ann. Inst. Pasteur **40**, 455 (1929).

Über homogene und sphäritische Verkalkung bei den verschiedenen Arten des Knochengewebes.

Von W. J. Schmidt, Gießen.

Knochengewebe — im weitesten Sinne des Begriffes genommen — erscheint bekanntlich in der Wirbeltierreihe zum ersten Male bei den Selachiern an der Grenze gegen die Epidermis als die sogenannten Placoidschuppen (Hautzähne), von denen sich nicht nur weitere Schuppenbildungen, sondern auch die Deckknochen des Schädels und die verschiedenen Dentinarten der Mundzähne ableiten. Erst später findet sich Knochengewebe in der Tiefe des Körpers und wird schließlich zum vorherrschenden Baustoff des Innenskeletts. Bei mannigfachen Abweichungen der verschiedenen Vorkommnisse im einzelnen — wie Einschluß von Zellen oder Zellausläufern oder ihr Fehlen — bleibt allen gemein der Besitz einer *Grundlage aus Kollagenfibrillen*, zwischen denen *Erdsalze*, vornehmlich phosphorsaurer Kalk, nachträglich abgelagert werden, und zwar, wie sich optisch und röntgenographisch erweisen läßt, in Gestalt submikroskopischer negativ einachsiger *Kryställchen* (vgl. z. B. W. J. Schmidt 1933) von *Hydroxylapalit* (vgl. z. B. E. Brandenberger u. H. R. Schinz 1946).

Diese *Krystallite* treten nun in *zweierlei Anordnung* auf: entweder folgen sie mit ihren optischen Achsen dem Zuge der (positiv doppelbrechenden) kollagenen Fasern, oder aber der Kalk scheidet sich sphäritisch ab. Das erste Verhalten, als *homogene Verkalkung* bezeichnet (Fig. 1), kommt offenbar so zustande, daß die (zuerst gebildeten) Kollagenfibrillen auf die (später) ausfallenden Erdsalze einen orientierenden Einfluß ausüben: die Krystallite werden von den Kollagenfibrillen „orientiert adsorbiert". In dem Fall der sphäritischen Verkalkung aber (Fig. 2) tritt das eigene feinbauliche Ordnungsvermögen des Kalkes zutage, seine Neigung Sphärokrystalle zu bilden, wie sie aus den Versuchen, künstlich Calcosphäriten herzustellen, wohlbekannt ist; jetzt ordnen sich die Krystallite mit den optischen Achsen radial um zahlreiche Punkte. Die so entstandenen Sphäriten darf man sich aber nicht etwa in Lücken des Kollagens vorstellen; vielmehr (vgl. Fig. 2a) werden sie von den Kollagenfibrillen durchzogen. Demnach durchdringen sich hier zwei Texturen ganz verschiedener Art, die sphäritische des Kalkes und die parallelfaserige des Kollagens. Dabei macht sich ein Einfluß der Kollagenfibrillen auf die Gestalt der Sphäriten (Ellipsen, siehe S. 276) bemerkbar. Ja, die gewöhnlich kaum hervortretende orientierende Wirkung, welche von den Zahnbeinkanälchen bzw. den Tomesschen Fasern ausgeht, kann innerhalb der Sphäriten des Dentins zum Vorschein kommen (Keil 1939, 356), so daß hier drei richtende Faktoren, nämlich das Eigenbestreben des Kalkes, seine orientierte Adsorption durch das Kollagen oder durch die Tomesschen Fasern miteinander um den Vorrang streiten.

Während man im knöchernen *Binnenskelett* bisher nur homogene Verkalkung kennt — worauf schon Keil (1935, 746) nachdrücklich hingewiesen hat —, tritt sphäritische — neben homogener! — in den *Schuppen der Knochenfische* und im *Dentin* auf, bei jenen als die sog. Mandlschen *Körperchen*, bei diesem als die *Globuli* (Arkaden und Halbmondfelder). Die Verwandtschaft zwischen Mandlschen Konkretionen

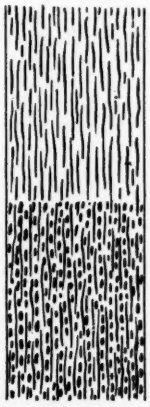


Fig. 1. *Schema der homogenen Verkalkung:* dargestellt ist ein Stück der streifigen Lamelle eines Haversischen Systems, und zwar oben nur die Kollagenfibrillen, unten dazu die Krystallite der Erdsalze (mit den optischen Achsen parallel den Fibrillen), welche mit einer geringen Menge organischer Substanz die verkalkte Kittmasse zwischen den Fibrillen bilden.

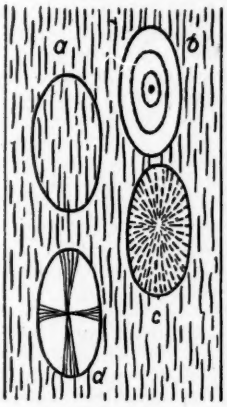


Fig. 2. *Schema der sphäritischen Verkalkung:* dargestellt ist ein Stück einer Lamelle aus der Basalschicht einer Knochenfischschuppe und darin vier Sphäritenscheiben, und zwar a) nur im Umriß, um das Durchlaufen der Kollagenfibrillen durch den Sphäriten zu zeigen; b) mit Andeutung der konzentrischen Schichtung, c) der Radiärstruktur; in d) ist die Polarisationsoptik angegeben, die sich nur nach Zerstörung des Kollagens und Aufhellung der zurückgebliebenen anorganischen Substanz beobachten läßt.

und Globuli ist schon von Leydig und Salbey (siehe bei Baudelot 1873) um die Mitte des vorigen Jahrhunderts erwogen worden, und daß diese Gebilde Calcosphäriten sind, hat für das Zahnbein Czermak (1850) und mit sehr guter Begründung für die Knochenfischschuppen Baudelot (1873) vertreten. Die Richtigkeit dieser Auffassungen ist dann in neuerer Zeit auf polarisationsoptischem Wege endgültig erwiesen worden, und zwar für das Zahnbein durch A. Keil (1934) und für die Mandlschen Körperchen durch meine jüngst mitgeteilten Untersuchungen (W. J. Schmidt 1947).

Es drängt sich natürlich die Frage auf, warum in dem einen Falle der Kalk homogen, in dem anderen

sphäritisch ausfällt. Sie läßt sich zur Zeit noch nicht endgültig beantworten. Man darf aber vermuten, daß wie auch sonst, Sphäriten bei *überstürzter* Krystallisation sich bilden und so auch in den betreffenden Knochengeweben bei plötzlichem, reichlichem Angebot von Kalk, während da, wo die Abscheidung langsam erfolgt, der orientierende Einfluß der Kollagenfibrillen entscheidend zur Geltung kommt. Die Verteilung der Globuli im Zahnbein der Säuger scheint solcher Auffassung günstig zu sein; denn bekanntlich häufen sie sich im menschlichen Dentin hinter den als Owenschen Konturlinien bekannten gröberen Wachstumsmarken. Wie man seit langem weiß, beruht das deutliche Hervortreten der Globuli darauf, daß zwischen ihnen unverkalkte „Interglobularräume" bestehen bleiben. Ähnlich erscheinen auch die Mandlschen Konkretionen vielfach durch unverkalkte Zwischengebiete geschieden. So entsteht der Eindruck, daß reichliche, aber sich bald erschöpfende Abscheidung des Kalkes für seine sphäritische Gestaltung von Bedeutung ist.

Denkbar wäre auch, daß die *chemische Zusammensetzung* der Kalksalze eine Rolle spielt. Denn erfahrungsgemäß neigt kohlensaurer Kalk stärker zu sphäritischer Ausfällung als phosphorsaurer. Jedoch reichen die bisher vorliegenden chemischen Analysen betreffend Erdsalze etwa in den Schuppen der Teleostei nicht aus, um diese Vermutung zu beweisen; es müßten besonders darauf gerichtete Nachforschungen angestellt werden, die globularfreies Dentin (wie in den Schneidezähnen der Nager) mit globularhaltigem vergleichen, oder Knochenfischschuppen, die an Mandlschen Konkretionen reich sind, mit solchen, bei denen sie nur spärlich sich entwickeln. Jedenfalls liegen die Dinge nicht etwa so, als ob der sphäritisch abgeschiedene Kalk reines oder fast reines Carbonat wäre; denn er besitzt die gleiche schwache Doppelbrechung wie die homogen verkalkte Umgebung; bestünden die Sphäriten auch nur vorwiegend aus Aragonit oder Calcit, dann würden sie sich durch starke Doppelbrechung auffallend herausheben.

Dem Zahn*schmelz* der Säuger mangelt Kollagen; er stellt also keine Abart des Knochengewebes dar, stimmt aber in seinem anorganischen Anteil mit diesem überein. Jedoch fehlen dem Zahnschmelz der Säuger Sphäriten nach bisheriger Kenntnis durchaus, wenn man von den eigenartigen Auslöschungserscheinungen gewisser Schmelzprismen (z. B. beim Elefanten) im polarisierten Licht absieht, die darauf hinzuweisen scheinen, daß mindestens der Anfang eines derartigen Prismas sphäritisch sein kann (W. J. Schmidt 1937). Bei niederen Wirbeltieren, denen echte Prismen fehlen, so bei Krokodilen, gewinnt man den Eindruck, als ob der Schmelz zunächst in kleinsten sphäritischen Portionen angelegt wird, deren eigentümliche Bauweise aber in der Wachstumsbeschränkung benachbarter Anlagen alsbald verlorengeht (Erler 1935). Für den Schmelz des Menschen hat nur Mummery (1924) das Vorkommen von Sphäriten, die räumlich über den Bereich zahlreicher Prismen sich erstrecken, angegeben; aber gewiß handelt es sich hier um abnorme Verhältnisse.

Während also die Beantwortung der Frage nach den entscheidenden Bedingungen für homogene oder für sphäritische Verkalkung noch aussteht, lassen sich verschiedene *Eigentümlichkeiten der sphäritischen Verkalkung* auf allgemeine Gesetze der Sphärokrystallbildung zurückführen.

Sphärokrystalle bestehen bekanntlich aus Elementen, die radial um einen Punkt herum im Raum oder auch nur in einer Ebene angeordnet sind; im letzten Falle, wie er z. B. verwirklicht wird, wenn Sphärokrystalle sich in flachen Räumen, etwa zwischen Objektträger und Deckglas, zu beträchtlicher Ausdehnung entwickeln, spricht man von Sphäritenscheiben, deren Aufbau ganz dem eines mittleren Schliffes durch einen räumlich entwickelten Sphärokrystall entspricht. Für Bildung sphäritischer Gestalten ist eine bevorzugte Wachstumsrichtung der Elemente erforderlich, wie sie etwa bei Krystallen des hexagonalen Systems (und diesem gehören auch die Krystallite des phosphorsauren Kalkes an) durch die krystallographische Hauptachse (= optische Achse) gegeben ist. Manche Stoffe treten in mehrerlei Art als Sphärokrystalle auf, indem der Radius etwa einmal der optischen Achse und das andere Mal der Richtung senkrecht dazu entspricht, was zu Sphäriten von gegensätzlichem optischen Vorzeichen bei der gleichen Substanz führt; oder bei demselben optisch zweiachsigen Stoff wurden Sphärokrystalle beobachtet, bei deren einen der Radius die „optische Normale" war, bei deren anderem aber eine „Mittellinie". Die Ausbildung der aufbauenden Elemente kann gröber (nadelig) oder feiner sein; ja es erscheint durchaus möglich, daß in gewissen Sphärokrystallen die tangentiale Versetzung der Struktur von einer Molekel zur anderen erfolgt.

Die Bildung von Sphärokrystallen (hier werden nur die sog. centrogenen berücksichtigt, nicht solche aber, die durch Ausfüllung kugeliger Hohlräume entstehen) kann so vor sich gehen, daß einige ausfallende Nädelchen sich verfilzen und dann die zufällig radial liegenden, bei denen also die Richtung bevorzugten Wachstums mit derjenigen bevorzugter Stoffzufuhr zusammenfällt, gefördert werden. Oder aber — und so scheint es nach den Untersuchungen von Popoff (1934) und von Bernauer (1929) insbesondere bei Sphärokrystallen mit gedrillten Nadeln zu sein — ein einzelner Krystallkeim spaltet sich in weiterem Wachstum faserig auf. Das letzte Verhalten beobachtete ich im Organismus bei den aragonitischen Schalenstacheln der Chitonen, deren erster Anfang einheitlich zwischen gekreuzten Nicols auslöscht und dann allmählich in sphäritisches Verhalten übergeht.

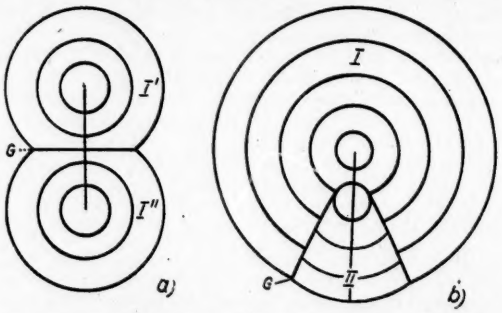


Fig. 3. *Erläuterung der Popoffschen Gesetze für die Wachstumsbegrenzung von Sphärokrystallen:* a) zwei *gleichzeitig* entstandene Späriten I' und I'' begrenzen sich in ebener Fläche (G), die zur Verbindungslinie der Zentren senkrecht steht; b) die *nacheinander* entstandenen Sphäriten I und II begrenzen sich mit der Fläche eines Rotationshyperboloids, das die Konvexität seiner Schale (G) dem älteren Sphäriten (I) zukehrt; die Verbindung der Zentren beider Sphäriten liefert die Rotationsachse des Hyperboloids.

Welcher Art nun auch der Anfang eines Sphärokrystalls sein mag, frei in seiner Mutterlauge oder Schmelze befindlich, wächst er nach allen Richtungen des Raumes, oder, bei Ausbildung einer Sphäritenscheibe, in deren Ebene mit gleicher Geschwindigkeit fort, falls die hierfür maßgebenden Bedingungen — wie Zusammensetzung und Konzentration der Lösung, Temperatur — überall dieselben sind. So kommt es

zur Ausbildung der *Kugel-* oder *Kreisscheibengestalt*, bei der Etappen des Wachstums, die durch Schwankungen der physikochemischen Bedingungen hervorgerufen werden, in konzentrischer Schichtung sich ausprägen können. Solche Gestalt der Sphärokrystalle und Sphäritenscheiben ist also im eigenen ungestörten Kraftfeld erzeugt, *idiomorph*.

Wenn aber benachbarte Sphäriten oder Sphäritenscheiben auswachsend zusammenstoßen, so begrenzen sie sich *allotriomorph*. Die hierfür maßgebenden Gesetzmäßigkeiten sind vor allem von Popoff (1902; 1904; 1934) erforscht worden (vgl. auch Bernauer 1926) und lassen sich für die hier in Frage kommenden Fälle folgendermaßen zusammenfassen: 1. Wenn zwei Sphäriten (von gleichartigem Wachstum, also z. B. derselben Substanz) *gleichzeitig* entstehen, begrenzen sie sich in einer *ebenen Fläche*, die auf der Verbindung der Bildungszentren senkrecht steht (Fig. 3a). So kommen durch allseitige Begrenzung von Sphäriten im Raum oder in einer Ebene polyedrische bzw. polygonale Gestalten zustande. 2. Entstehen zwei (oder mehr) Sphäriten *nacheinander*, dann erscheint als Grenze die Schale eines Rotationshyperboloids und die Verbindungslinie der Zentren liefert die Rotationsachse des Hyperboloids, das sich stets nach dem *jüngeren* Sphärokrystall hin öffnet (Fig. 3b). Diese Verhältnisse ergeben sich, wie Popoff durch mathematische Behandlung der Wachstumsbedingungen gezeigt hat, mit Notwendigkeit und sie lassen sich beim Entstehen von Sphäritenscheiben aus der Schmelze zwischen Objektträger und Deckglas mit mancherlei Stoffen elegant vorführen.

Man kann also an der gegenseitigen Begrenzung benachbarter Sphärokrystalle mit Leichtigkeit entscheiden, ob sie gleichzeitig oder nacheinander entstanden sind und welche im letzten Falle die jüngeren. Je größer der zeitliche Unterschied im Auftreten

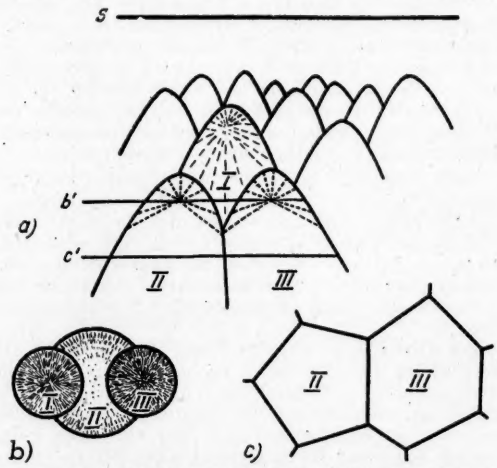


Fig. 4. *Schema der Teilsphäriten* (Arkaden, Halbmonde) *im Zahnbein:* a) im radialen *Längsschnitt* des Zahnes, dessen Schmelz-Dentingrenze bei S liegt; II und III zwei gleichzeitig entstandene, z. T. in ebener Fläche sich gegenseitig begrenzende Sphärokrystalle; I ein vorher entstandener Globulus; b) und c) im *Tangentialschnitt*, und zwar b) in der Höhe von b' und c in der Höhe von c' der Teilfigur a. (In der linken unteren Teilfigur b) muß die Reihenfolge der Bezeichnungen II, I, III sein.)

benachbarter Sphäriten, um so stärker durchgebogen erscheint auf dem Durchschnitt die hyperbolische Grenze.

Nun hat A. Keil (1934 bis 1939) in mehrfachen sorgfältigen Untersuchungen auf die *eigenartige Form* der als *Halbmonde* oder *Arkaden* bezeichneten *Globuli* im Zahnbein des Menschen und auch bei anderen Säugern hingewiesen, die er als „parabolische Ausschnitte aus einem vollständigen Sphäriten" (1939 a. a. O., S. 355) kennzeichnet. Dabei betont Keil, daß die Halbmonde durchweg nach dem Zahninneren sich öffnen und senkrecht zur jeweiligen Ablagerungsschicht stehen (vgl. Fig. 4a).

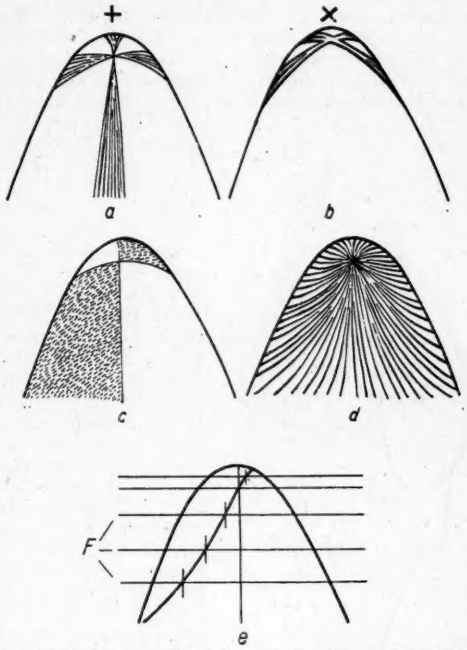


Fig. 5. *Teilsphärit aus Zahnbein*, nach Beseitigung des Kollagens aufgehellt: a) zwischen gekreuzten Nicols in Normallage; b) desgl. in Diagonallage; c) desgl. bei Kompensation; d) die aus a bis c erschlossene vermutliche Anordnung der Krystallnadeln; e) Erklärung der Krümmung der Nadeln durch Ablenkung infolge der parallelfaserigen Kollagengrundlage (*F*).

Die Deutung der genannten eigenartigen Gestalt der Globuli im Zahnbein liegt nach dem oben Dargelegten auf der Hand: sie ist die Folge davon, daß die Sphäriten zeitlich nacheinander entstehen, wobei die jüngeren sich in die älteren mit der Fläche eines Rotationshyperboloids einsenken, das nach der Zahnhöhle hin offen ist.

Aber noch weitere Einzelheiten bei der Gestaltung der Globuli finden so ihre Erklärung. *Hyperbolische* Grenzen von Teilsphäriten sieht man nur auf *Längs-* und *Quer*schnitten des Zahnes, in denen *nacheinander* entstandene Anteile des Dentins der Beobachtung zugänglich sind. An Tangentialschliffen, die, mindestens in einem begrenzten Bereich, *gleichzeitig* verkalktes Material darbieten, erweisen sich benachbarte Globuli oft *geradlinig* (polygonal) begrenzt (Fig. 4c). Nach den Popoffschen Gesetzen kann eben nur da, wo ein Teilsphärit von einem *früher* gebildeten umschlossen wird, eine *hyperbolische* Grenze sich ausbilden; wo aber zu *gleicher* Zeit entstandene Arkaden einander begegnen, da wird die Grenze *eben*, senkrecht zur Verbindung der beiden Sphäritenzentren (wie bei II und III in Fig. 4a unten). Die Teilsphäriten sind vielfach nur im Anfang hyperboloidisch (Fig. 4a in Höhe von b'), während sie später sich ebenflächig begrenzen (Fig. 4a in Höhe von c'). Diese letzten Abschnitte treten nun am Tangentialschliff als Polygone hervor (Fig. 4c), während daneben die hyperboloidische Begrenzungsweise (nach Art von Fig. 4b) zu beobachten ist. Gelegentlich kann sich an Radial- und Querschliff seitliche geradlinige Begrenzung gleichzeitig gebil-

deter Globuli in „Säulenform" auffallend bemerkbar machen.

Schließlich sind der Klärung bedürftig die merkwürdigen *Auslöschungserscheinungen* zwischen gekreuzten Nicols, die in verschiedenen Bildern bei Keil (z. B. 1934, Fig. 7b) deutlich hervortreten und auch in seinem Text erwähnt werden. Die Dinge liegen an menschlichem Dentin so, daß in Normallage der Teilsphäriten negativen Vorzeichens (diese Optik ist bekanntlich nur am kollagen*freien aufgehellten* Schliff zu beobachten!) ein Polarisationskreuz erscheint, dessen Mittelpunkt dem Brennpunkt der Hyperbel und dessen einer Arm ihrer Achse entspricht, während der andere dazu senkrecht steht, leicht nach innen hin durchgebogen (Fig. 5a). Wie Keil (1939, Fig. 16) an einem (s. Zt. zusammen mit mir entworfenen) Schema zeigt, ist diese Gestalt des Polarisationskreuzes im wesentlichen Folge des vorliegenden Ausschnittes eines Vollsphäriten. Geht man aber zur Diagonallage über, so erscheint an Stelle des Kreuzes ein dunkles Doppelbüschel, symmetrisch zur Hyperbelachse gelegen, mit der Einziehung im Brennpunkt der Hyperbel und also mit zwei kurzen und zwei langen Armen (Fig. 5b). Erhellt erscheinen jetzt zwei schweifartige Bereiche, die vom Brennpunkt seitlich ziehen. Das Doppelbüschel kommt so zustande, daß die Halbachsen des Kreuzes (in Normallage) beim Übergang zur Diagonallage sich paarweise einander nähern und schließlich fast verschmelzen. In den Zwischenstellungen nehmen die Kreuzachsen an ihren Enden eigentümlich geschwungenen Verlauf an (s. Keil 1934, Fig. 7b). Bei Kompensation erhält man ein Bild nach Art der Fig. 5c. Solche Auslöschungserscheinungen können nicht längs *geraden* Radien erfolgen, sondern die *Strahlen müssen gekrümmt* sein. Die nähere Analyse ist schwierig, da sich in den Sphäriten auch der orientierende Einfluß der Zahnbeinkanälchen geltend macht; die Dinge scheinen so zu liegen, daß die Krümmung symmetrisch zur Hyperbelachse erfolgt, wobei die Konvexität der Strahlen der Achse zugekehrt ist (Fig. 5d).

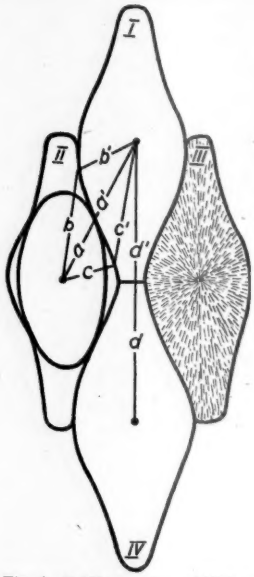


Fig. 6. *Erklärung der schiffchenähnlichen (allotriomorphen) Gestalt der Sphäritenscheiben* (Mandlschen Konkretionen) *in den Schuppen der Teleostei:* I, II, III, IV, vier Sphäritenscheiben, in II die idiomorphe Ellipsenform der Scheibe eingetragen, in III ihr sphäritischer Aufbau. Die Verbindung der Mittelpunkte I mit IV und I mit II liefert gleichlange Vektoren (d und d', bzw. a und a') der beteiligten Scheiben, die im letzten Falle sich an den Berührungspunkten benachbarter Ellipsen treffen; hier gilt das erste Popoffsche Gesetz; für die anderen Punkte des schiffchenartigen Umrisses kommt das zweite Gesetz zur Wirkung.

Vielleicht hängt die Krümmung der Strahlen mit der von Popoff (1934) erhärteten Tatsache zusammen, daß Faserkrümmung bei echten Sphärokrystallen auf *Änderung der Wachsstumsgeschwindigkeit* in bestimmten Bereichen beruht. Solche „Brechung der Auswachsstrahlen" konnte Popoff erreichen, wenn er einen Sphärokrystall in zwei aneinanderstoßenden verschieden temperierten Wärmefeldern sich entwickeln ließ, wobei das Gebiet niedrigerer Temperatur dem stärkerer „Strahlen"brechung entspricht. In ihm *nähert* sich nämlich der Strahl dem Einfallslot auf die Grenze. Solche Temperaturunterschiede freilich kommen bei den Arkaden nicht in Frage. Man könnte aber erwägen, ob nicht die Hemmung des Sphäritenwachstums durch den Verlauf der Kollagenfibrillen (*F*, Fig. 5e) eine ähnliche Rolle spielt: parallel zu diesen ist die Wachstumsgeschwindigkeit am größten, senkrecht dazu am kleinsten (s. u.). Läßt man diese Erklärung als richtig gelten, dann steht der beobachtete Verlauf der Radien mit dem von der Theorie geforderten in Einklang (Fig. 5e).

Während es sich bei den Globuli des Zahnbeins um räumlich entwickelte Sphärokrystalle handelt, liegen bei den Mandlschen *Konkretionen* der Knochenfischschuppen Sphäriten*scheiben* vor (W. J. Schmidt 1947), deren Ebene mit jener der zugehörigen Lamelle zusammenfällt und deren Dicke von dieser bestimmt wird. Solange nun die Sphäritenscheiben ungehemmt wachsen, zeigen sie *idiomorphen, elliptischen* Umriß. Dieser ist, wie ich an eben genannter Stelle dargelegt habe, eine Folge der Wachstumsbeeinflussung der Sphäritenscheibe durch die parallelfaserige Kollagengrundlage. Der Zusammenhang, der sich schon darin äußert, daß die Ellipsen mit ihrer großen Achse dem Faserverlauf folgen, beruht darauf, daß neues Kalkmaterial leichter längs den Fasern als quer dazu ansetzt.

In jeder Lage der Basalschicht einer Schuppe treten die Mandlschen Konkretionen zuerst in der Mitte auf und breiten sich dann nach dem Rande hin aus, d. h. die Verkalkung schreitet zentrifugal fort; aber der Vorgang verläuft so, daß in der Mitte die Krystallisationskeime in größeren Abständen voneinander erscheinen und daher die Körperchen hier zu beträchtlicherem Ausmaß heranwachsen als am Rande. Innerhalb eines kleinen Bereiches aber kann man nebeneinandergelegene Konkretionen als gleichzeitig entstanden auffassen, und es würde also für sie das erste Gesetz Popoffs gelten — wenn nicht die Wachstumsgeschwindigkeit der Sphäritenscheiben nach verschiedenen Richtungen ungleich wäre.

Beim Berühren benachbarter Sphäriten kommen als *allotriomorphe* Gestalt oft rhombische, *schiffchenähnliche Gebilde* zustande derart, daß die rhombische Scheibe, deren große Achse jener der Ellipse entspricht, in ihrem mittleren Teil bauchig angeschwollen ist, während nach den Enden dieser Achse hin die Krümmung der Randlinie gegensätzlichen Verlauf nimmt (Fig. 6).

Die Grenzfläche ist also hier trotz gleichzeitiger Entstehung der Sphäriten nicht eben, sondern in eigentümlicher Art geschwungen, offensichtlich als Folge unterschiedlicher Wachstumsgeschwindigkeit nach den verschiedenen Radien der Sphäriten. Eine strenge Ableitung der entstehenden Gestalt muß nunmehr das elliptische Wachstum beachten und einschränkende Bedingungen ansetzen, weil die gegenseitige Lage der Krystallisationszentren jetzt nicht mehr belanglos bleibt. Doch kann das Wesentliche wohl in folgender Art erläutert werden: Da die elliptischen Anlagen der Sphäritenscheiben weder in Längs- noch in Querreihen angeordnet erscheinen, so liegt nahe, ihre Zentren in die Mitte von Maschen zu verlegen, die durch zwei Scharen von Parallelen bestimmt werden, welche sich unter nichtrechtem Winkel schneiden. Beim Auswachsen werden die Ellipsenscheiben zunächst die rhombischen Maschen bzw. sich selbst an vier Stellen berühren (Fig. 6, II). Die Lage dieser Punkte hängt vom Achsenverhältnis der

Ellipse ab; es lassen sich unzählige gedrungenere oder schlankere Ellipsen dem gleichen Rhombus einbeschreiben. Wir wählen das Achsenverhältnis so, daß die erste Berührung annähernd in der Mitte der Rhombenseiten stattfindet. Verbindet man jetzt die Zentren zweier benachbarter Sphäritenscheiben, sei es übereinandergelegener (wie I und IV) oder schräg gelagerter (wie I und II, Fig. 6), dann müssen die so gezogenen Geraden nach dem ersten Popoffschen Gesetz den Scheibenrand an diesen Stellen senkrecht durchstoßen, weil hier gleichlange Radiovektoren (z. B. a und a′) aufeinandertreffen, also die Wachstumsgeschwindigkeit die gleiche war. An allen anderen Stellen aber hat das erste Popoffsche Gesetz keine Gültigkeit; vielmehr wirkt hier Punkt für Punkt das zweite, weil die aufeinanderstoßenden Radien verschieden lang sind, wie z. B. b und b′ oder c und c′; hier muß also jedes kleinste Stück des Umrisses als Teil einer immer anderen Hyperbel gelten. Das heißt, die Krümmung variiert von Punkt zu Punkt entsprechend dem Längenverhältnis der Radien; dabei weist im Sinne des zweiten Popoffschen Gesetzes die konkave Seite der Krümmung dem kürzeren Radius zu. So versteht sich die Umkehr des Krümmungssinnes beiderseits der ersten Berührungspunkte der Ellipsen.

Nach dem Dargelegten könnten die homogene und und sphäritische Verkalkung wie zwei streng getrennte Typen erscheinen, zwischen denen es keinerlei Übergänge gäbe. Doch bleibt zu erwägen, ob nicht auch bei homogener Verkalkung zunächst winzige sphäritische Anlagen auftreten, die aber nicht zu weiterer Entfaltung kommen, weil der orientierende Einfluß des Kollagens mehr und mehr wirkt. Die beiden Verkalkungstypen unterschieden sich dann nur gradweise, indem bei der homogenen Verkalkung sphäritische Keime nur in den ersten Anfängen sich erhalten, während sie bei der sphäritischen ansehnliche mikroskopische Ausmaße erreichen.

Eingegangen am 2. Dezember 1947.

Literatur.

Baudelot, M. E., Recherches sur la structure et le développement des écailles des Poissons osseux. Arch. Zool. expér. **2**, 87—244, 429 bis 489 (1873). — Bernauer, F., Über Zickzackbänderung (Runzelbänderung) und verwandte Polarisationserscheinungen an Krystallen und Krystallaggregaten. N. Jahrb. Mineral. Beilageband **55**, Abt. A., 92—143 (1926). —, Gedrillte Krystalle. Forschungen zur Krystallkunde, Heft 2, Berlin (1929). — Brandenberger, E. u. Schinz H. R., Über die Natur der Verkalkungen bei Mensch und Tier und das Verhalten der anorganischen Knochensubstanz im Falle der hauptsächlichen menschlichen Knochenkrankheiten. Helv. med. Acta A Suppl XVI (1946) (Beilage zu Bd. **12**, fasc. 6). — Czermak, J., Beiträge zur mikroskopischen Anatomie der menschlichen Zähne. Z. Zool. **2**, 297—322 (1850). — Erler, G., Über den Zahnschmelz der Krokodile. Z. Zellforsch. **23**, 589—606 (1935). — Keil, A., Über Doppelbrechung und Feinbau des menschlichen Zahnbeins. Z. Zellforsch. **21**, 635—652 (1934). —, Über den Feinbau der harten Zahnsubstanzen nach Untersuchungen im polarisierten Licht. Deutsche Zahn- usw. Heilkunde **2**, 741 bis 748 (1935). —, Über Unterschiede der Doppelbrechung und des Feinbaues im Säugerdentin, gezeigt am Beispiel von Mensch und Nagern. Verh. deutsch. Zool. Ges. 163—170 (1938). —, Über den Feinbau des normalen und krankhaften Zahnbeins nach Untersuchungen im polarisierten Licht. Deutsche Zahn- usw. Heilkunde **6**, 347—364 (1939). — Mummery, J. H., Microscopic and general anatomy of the teeth. London (1924). — Popoff, B., Beitrag zum Studium der Sphärolithbildungen. Förhandl. Nord. Naturforskare och Läkaremöted i. Helsingfors, Sekt. IV. 9 Seiten (1902). —, Eine neue Untersuchungsweise sphärolithischer Bildungen. Tschermaks mineral. Mitt. 23, 155—179 (1904). —, Sphärrolithenbau und Strahlungskristallisation. Latv. Farm. Žurn. Riga (1934). — Schmidt, W. J., Der Feinbau der anorganischen Grundmasse des Knochengewebes. Ber. Oberhess. Ges. Natur- und Heilkunde, naturwiss. Abt. **15**, 219—247 (1933). —, Über die Orientierung der Krystallite im einzelnen Schmelzprisma. Naturwiss. **25**, 283—284 (1937). —, Das Wesen der Mandlschen Körperchen in den Teleosteerschuppen, ein Beitrag zum Verständnis der Kalkabscheidung bei der Bildung knochenartiger Gewebe. Z. Naturforschung, 2b, 233—238 (1947).

Kurze Originalmitteilungen.

Neue optische Filter durch absorptionsfreie Interferenzschichten.

Der Gedanke, durch interferenzfähige dünne Schichten optische Filterwirkungen zu erzielen, wurde zuerst durch die Kombination von zwei teildurchlässigen metallischen Spiegelschichten mit einer dazwischen eingebetteten dielektrischen Schicht von einigen Wellenlängen Dicke realisiert[1]). Das so gebildete Mikro-Perot-Fabry-Interferometer liefert im Sichtbaren bei günstigster Wahl der Spiegelschichten (Silber von etwa 12% Durchlässigkeit und 83% Reflexionsvermögen) Durchlässigkeitsbanden, deren Halbwertsbreite ungefähr $^1/_{15}$ des spektralen Abstandes zweier Banden beträgt, während ihr Maximum je nach der Lage im Spektrum 20—40% erreicht. Wählt man die Dicke der Zwischenschicht so, daß nur eine Bande im Sichtbaren liegt, so gelangt man also zu Halbwertsbreiten von 130 ··· 250 AE.

Der Ausbau der Theorie des Lichtdurchgangs durch Vielfachschichten hat neuerdings dazu geführt, solche Systeme, die im allgemeinen abwechselnd aus hoch- und niedrigbrechenden, *nicht absorbierenden* Schichten bestehen, ebenfalls für Zwecke der Lichtfilterung heranzuziehen. Während man bisher, vor allem in Amerika, hauptsächlich Verfahren ausgearbeitet hat, mit denen aus dem Spektrum breite Gebiete mit möglichst steilen Grenzen ausgefiltert werden können, gelang es im hiesigen Laboratorium, mit solchen Anordnungen nun auch Filter mit schmalen Banden hoher Maximaldurchlässigkeit zu entwickeln. Bei gleicher Halbwertsbreite, wie sie metallische Interferenzfilter aufweisen, erreicht man hiermit Maximaldurchlässigkeiten von 80 bis 90%.

Durch ihre Eigenschaft, eine verlustfreie spektrale Lichtteilung zu bewirken und gleichzeitig völlige Lichtechtheit zu besitzen, bietet sich den absorptionsfreien Mehrfachschichtfiltern manche bemerkenswerte technische Anwendungsmöglichkeit; da man z. B. aus dem Spektrum des auffallenden Lichtes eine Oktave durch Reflexion nahezu ganz entfernen kann, ist eine Verwendung als Wärmestrahlenfilter, das keiner Erhitzungsgefahr unterliegt, denkbar. Die verlustfreie Farbteilung ist ferner auf dem Gebiete der Farbenphotographie von Interesse. Der großen Abwandelbarkeit dieser Interferenzfilter, die eine wertvolle Ergänzung zu den bisherigen Farbfiltern zu bilden vermögen, steht allerdings einstweilen noch ein hoher Aufwand in der Berechnung und Herstellung gegenüber.

München, Optische Werke C. A. Steinheil Söhne.

H. Schröder.

Eingegangen am 8. November 1947.

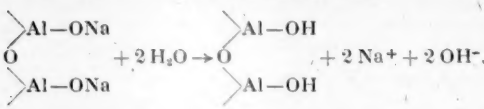
[1]) D.R.P. 716153 (Schott u. Gen. Jena, 1942).

Die *pH*-Abhängigkeit der Adsorption amphoterer Stoffe.

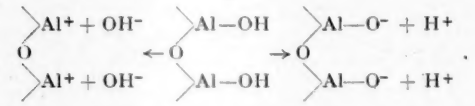
Die Adsorption amphoterer Stoffe an der Oberfläche von Eiweißmembranen oder -mizellen, die ebenfalls amphoter ist, stellt ein Grundproblem der lebenden Zelle dar. Deshalb haben wir ein solches System an dem anorganischen Modell Aluminiumoxyd untersucht.

Unter „Aluminiumoxyd" ist hier nicht das chemisch reine Al_2O_3 zu verstehen. Dieses zeigt in wäßriger Lösung fast keine Adsorptionsfähigkeit für gelöste Stoffe[1]). Wir nehmen vielmehr ein alkalihaltiges Aluminiumoxyd, das nach dem Auswaschen mit Wasser

durch Hydrolyse der Aluminat-zentren seiner Oberfläche dort freie Hydroxylgruppen hat:

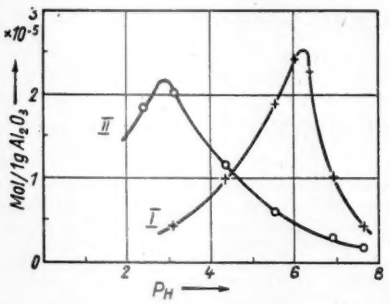


Ein solches Oxyd ist amphoter; es kann in zwei Richtungen ionisieren:



Das p_H, bei dem beide Arten der Dissoziation sich gerade die Waage halten, ist als der isoelektrische Punkt (I.P.) zu bezeichnen; sein Zahlenwert ist bisher nicht bekannt.

An einem solchen Aluminiumoxydpräparat haben wir die Aminosäuren Alanin I (I.P. = 6,15) und Asparaginsäure II (I.P. = 2,98) bei verschiedenem p_H des Mediums adsorbiert. Die Einstellung der Acidität erfolgte mit dem Puffer nach Mc. Ilvaine aus Zitronensäure und sek. Natriumphosphat, die Werte wurden elektrometrisch nachgemessen. Zur Feststellung der Adsorption wurde in der Restlösung eine Mikro-Kjeldahl-Bestimmung vorgenommen. Die erhaltenen beiden Adsorptionskurven überraschen durch ein sehr scharfes *Maximum in der Nähe des isoelektrischen Punktes* der Aminosäure:



Für eine Mischlösung würde sich also eine *ganz spezifische Adsorption* desjenigen Stoffes ergeben, dessen I.P. dem p_H-Wert der Lösung am nächsten liegt.

Eine ähnliche p_H-Abhängigkeit haben S. M. Hauge und J. J. Willaman[2]) auch für die Adsorption amphoterer Stoffe an Aktivkohle gefunden. Ihre Kurve unterscheidet sich jedoch grundlegend von unserer, die am amphoteren Austauschadsorbens gültig ist, und zwar durch die Breite des Maximums, das ziemlich gleichmäßig eine ganze Hälfte der p_H-Skala überdeckt. Sie bietet daher keine Erklärung für die auswählende Adsorption eines bestimmten von mehreren sauren (oder basischen) Ampholyten. Gerade diese Spezifität ist es aber, die wir in der tierischen oder pflanzlichen Zelle bewundern; die *spezifische* Anfärbbarkeit, Quellung oder Entquellung ganz bestimmter Strukturen, oder die auswählende Wirkung von Arzneimitteln an bestimmten Stellen.

Freiburg Br. und Wiesbaden, 23. Nov. 1947.

Gerhard Hesse, Oskar Sauter.

Eingegangen am 25. November 1947.

[1]) Schwab, G.-M. und Jockers, K., Angew. Chem. **50**, 546 (1937).
[2]) Ind. Engg. Chem. **19**, 943 (1927).

Über die Hemmung der Kartoffelphosphatase durch Phosphat- und Arsenat-Ionen.

Es ist schon lange bekannt, daß Phosphat-Ionen die Spaltung von Phosphorsäure-estern durch Phosphatasen hemmen. Auch für die von Pfankuch[1]) entdeckte Kartoffelphosphatase ist dies festgestellt worden. Diese Phosphathemmung wurde mit der Hemmung durch Arsenat quantitativ an verschieden hergestellten, gereinigten Präparaten von Kartoffelphosphatase verglichen. Die genaue Versuchsbeschreibung soll an anderer Stelle mitgeteilt werden.

Die Wirksamkeit der Phosphatase wurde durch die Spaltung des Phenylphosphats (Bestimmung des abgespalteten Phenols) in Citrat-gepufferter Lösung bestimmt[2]). Temperatur, wenn nichts anderes angegeben, 20,0°. Als Phosphatase-Einheit: PE (zur Charakterisierung der Fermentpräparate) ist gemessen die Menge Ferment, die unter optimalen Bedingungen bei 30,0° aus Phenylphosphat in einer Stunde 0,1 mg P als Phosphorsäure in Freiheit setzt. Trotz der nicht stark ausgeprägten Spezifität der Kartoffelphosphatase darf diese Einheit nicht ohne weiteres den an anderen Substraten (Glycerophosphat) und bei anderen Temperaturen oder mit anderen Puffern durchgeführten Messungen gleichgesetzt werden.

1. Abhängigkeit der Hemmung durch Phosphat und Arsenat bei verschiedenen Fermentpräparaten von der H-Ionen-Konzentration (p_H-Maximum der Schädigung):

Tabelle 1.

Fermentpräparat	p_H-Maximum der Schädigung für Phosphat-Ionen	Arsenat-Ionen
Aceton-Fällung 6,0 PE/mg	4,4	4,4
Tannin-Fällung 36 PE/mg	4,4	4,3
Tannin-Fällung 108 PE/mg	4,5	4,5

2. Temperaturabhängigkeit der Phosphat- und Arsenatschädigung.

Für diese Art der Schädigung der Phosphatase ist sehr charakteristisch, daß sie bei sonst gleichen Bedingungen bei niedriger Temperatur stärker ist als bei höherer: Ferment: Tanninfällung, 108 PE/mg · p_H = 4,51.

Tabelle 2.

Temperatur	Phosphatschädigung	Arsenatschädigung
20°	22,2%	20,0%
30°	16,7%	14,2%

3. Schädigung in Abhängigkeit der Konzentration von Phosphat- und Arsenat-Ionen (bei 30°).

Tabelle 3.

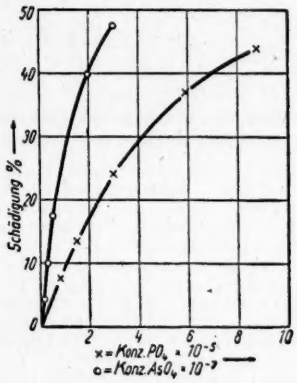
Phosphat-Ionenzusatz in Mol/4 ml	Schädigung in %	Arsenat-Ionenzusatz in Mol/4 ml	Schädigung in %
—	0,0	—	0,0
0,735 10^{-5}	7,5	0,122 10^{-6}	4,2
1,47 10^{-5}	13,4	0,244 10^{-6}	10,0
2,94 10^{-5}	23,9	0,488 10^{-6}	17,5
5,88 10^{-5}	36,8	1,952 10^{-6}	39,9
8,82 10^{-5}	43,8	2,930 10^{-6}	47,4

Der Verlauf der Schädigung in Abhängigkeit von der Konzentration der zugesetzten Phosphat- und Arsenat-Ionen ist sehr ähnlich, doch wirken Arsenat-Ionen schon in wesentlich geringerer Menge. Zur gleichen Schädigung ist nur etwa 1/50 der Arsenat-Ionen nötig.

4. Arsenit schädigt sehr viel weniger als Arsenat, vielleicht überhaupt nur deswegen, weil es von den verschie-

denen Fermentpräparaten verschieden schnell durch Oxydasen zu Arsenat oxydiert wird.

Schlußfolgerung: Es gehen die Schädigungen der Kartoffelphosphatase durch Phosphat und Arsenat in Abhängigkeit von p_H, von der Konzentration, von der Temperatur weitgehend parallel. Um den gleichen



Grad der Schädigung zu erreichen, braucht es vom Arsenat nur etwa den fünfzigsten Teil.

Vielleicht ist die Giftwirkung von Arsenat in manchen Fällen auf diese starke Behinderung phosphatatischer Fermente zurückzuführen.

Bonn, Chemisches Institut der Universität.

B. Helferich, H. Stetter.

Eingegangen am 17. Dezember 1947.

[1]) Pfankuch, H. S. **241**, 34.
[2]) Helferich, B. u. Stetter H. Liebigs Annalen, 558 (1947), 234.

Die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer von Blütenpollen.

I. Mitteilung.

Die Geschwindigkeit organisch-chemischer Reaktionen nimmt mit fallender Temperatur ab, und zwar meist so, daß eine Erniedrigung von 10 Graden eine Verlangsamung um den Faktor 2—3 bewirkt. Schon bei etwa 80° C (feste Kohlensäure) verlaufen nur wenige Reaktionen mit meßbarer Geschwindigkeit. Bei noch tieferen Temperaturen, z. B. der der flüssigen Luft (etwa —190° C) oder des flüssigen Wasserstoffes (etwa —253° C), sind organisch-chemische Reaktionen restlos unterdrückt.

Wie verhalten sich nun einfache biologische Reaktionen bei solchen sehr tiefen Temperaturen? Zeigen sie die gleiche Temperaturabhängigkeit? Voraussetzung zu derartigen Versuchen ist, daß das lebende Versuchsobjekt die tiefen Temperaturen überlebt.

Vorversuche mit Pollen verschiedener Pflanzen, besonders mit Lupinus polyphyllus Lindl., hatten gezeigt, daß kurzfristige Abkühlung auf etwa —190° C ihre Keimfähigkeit nicht zerstörte. Blütenpollen eignen sich für diese Versuche auch deswegen gut, weil ihre Lebensdauer, d. h. die Fähigkeit zur Bildung eines Pollenschlauches, beschränkt ist. Sie bieten wegen ihrer Kleinheit außerdem den Vorteil, ein großes Versuchsmaterial beobachten zu können, wie es für statistische Untersuchungen Vorbedingung ist. Allerdings ist es schwer, einheitliches Material zu bekommen, und dementsprechend sind die Schwankungen vom Mittelwert oft ziemlich groß und es kommen bisweilen auch „Ausreißer" vor (vgl. Kurve I und II).

Zu unseren Versuchen dienten Pollen von *Lupinus polyphyllus* Lindl., die in frischem Zustande 30—40 μ groß sind. Sie sind in 10%iger Rohrzuckerlösung in der feuchten Kammer bei Zimmertemperatur gut keimfähig. Wenige mg der von voll aufgeblühten Blüten frisch gesammelten Pollen wurden in Glasröhrchen eingeschmolzen und diese bei verschiedenen Temperaturen verschieden lange aufbewahrt. Dann wurden die Röhrchen aufgeschnitten und der Inhalt in 10%iger Rohrzuckerlösung in der feuchten Kammer zum Keimen angesetzt. Nach dreistündiger Aufbewahrung bei Zimmertemperatur wurden die gekeimten und nicht gekeimten Pollen unter dem Mikroskop bei etwa 100facher Vergrößerung quantitativ ausgezählt. Diejenigen, die in dieser Zeit keinen Pollenschlauch getrieben hatten, wurden als tot bezeichnet.

1. *Der Einfluß des Lagerns bei der Temperatur der flüssigen Luft.*

Da wir aus reaktionskinetischen Überlegungen überzeugt waren, daß Pollen, welche Abkühlen auf flüssige Luft vertragen, bei den tiefen Temperaturen eine praktisch unbegrenzte Lebensdauer besitzen, erschien es zwecklos, von Zeit zu Zeit zu untersuchen, ob die Pollen noch leben. Wir schlugen daher folgenden Weg ein: Die Hälfte der Pollen wurde kurz abgekühlt auf —190° C, dann bei 0° C gelagert und von Zeit zu Zeit die Keimfähigkeit bestimmt. Auf diesem Wege wurde die Kurve 1 erhalten. Die andere Hälfte der Pollen wurde drei Monate bei —190° C gelagert und dann genau so behandelt wie die erste Probe. So erhielten wir Kurve 2. Da nach unseren Überlegungen das Lagern bei dieser niedrigen Temperatur überhaupt keinen Einfluß auf die Pollen haben soll, müßten Kurve 1 und 2 praktisch identisch sein, falls die Zeit des Lagerns in flüssiger Luft nicht in Rechnung

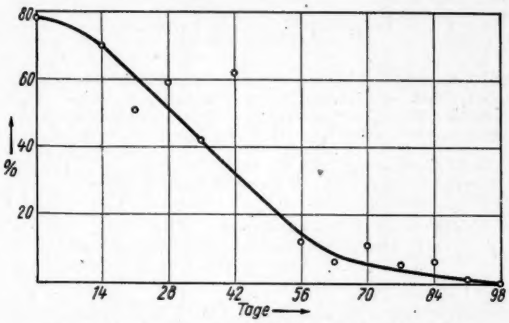


Fig. 1. Abnahme der Keimfähigkeit von Lupinenpollen während der Lagerung bei 0° C.

gesetzt, sondern die Zeit erst vom Zeitpunkt des Lagerns bei 0° C gezählt wird. Die Kurven 1 und 2 sind offenbar innerhalb der Fehlergrenzen identisch. Damit ist bewiesen, daß für die Pollen während der

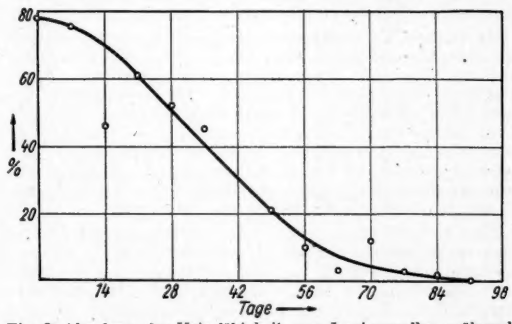


Fig. 2. Abnahme der Keimfähigkeit von Lupinenpollen während der Lagerung bei 0° C, nach voraufgegangener dreimonatiger Lagerung bei —190° C.

Dauer der Lagerung in flüssiger Luft „die Zeit biologisch praktisch stillsteht". Gegenwärtig ist ein größeres Versuchsmaterial in Arbeit, um die Fehlergrenzen herabzusetzen.

2. *Die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer.*

Es wurde die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer der Pollen bei +32°, +18°, 0°, —10°, —25° und der Temperatur der flüssigen Luft (etwa —190°) nach

jeweils 1, 3, 9, 27 und 81 Tagen untersucht, um die Lebensdauer τ der Pollen bei den verschiedenen Temperaturen festzustellen. τ stellt diejenige Zeit dar, nach der die Anzahl der zu Versuchsbeginn lebenden Pollen auf die Hälfte abgesunken ist. Die Ergebnisse dieser Versuchsserie sind in der Kurve 3 zusammengefaßt. Sie zeigt, daß die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer der untersuchten Lupinenpollen sich durchaus im Sinne der Temperaturabhängigkeit einer

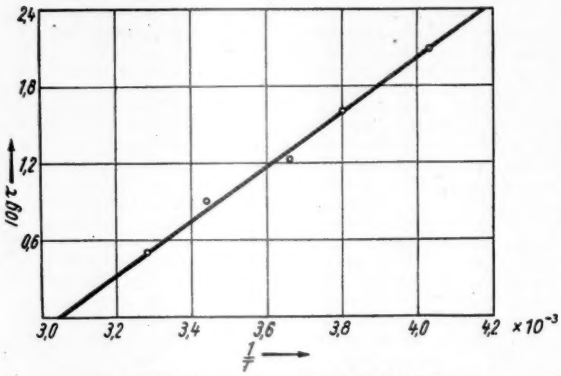


Fig. 3. Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer τ von Lupinenpollen.

chemischen Reaktion verhält. Die Reaktionskinetik lehrt, daß die Temperaturabhängigkeit einer chemischen Reaktion, sofern es sich um ein einheitliches chemisches Geschehen handelt, durch die Gleichung:

$$\frac{d \ln K}{d T} = \frac{Q}{R T^2} \text{ bzw. } \ln K_1 - \ln K_2 = \frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right),$$

Q = Aktivierungswärme,
K = Reaktionsgeschwindigkeitskonstante,
T = absolute Temperatur,
R = Gaskonstante,

wiedergegeben werden kann. Das Experiment ergab eine relativ kleine Aktivierungswärme von 8,5 Kilokalorien. Eine Extrapolation der gefundenen Reaktionsgeschwindigkeiten mit Hilfe obiger Gleichung auf die Temperatur der flüssigen Luft zeigt, daß — störungsfreie Aufbewahrung vorausgesetzt — die Keimfähigkeit der Pollen innerhalb Jahrmillionen praktisch dieselbe bleiben muß. Bei der Temperatur der festen Kohlensäure würden sich diese Pollen rechnungsgemäß etwa ein Jahrzehnt unverändert halten.

In beiden Versuchsserien kommen wir also zu dem gleichen Ergebnis, nämlich dem, daß bei der Temperatur der flüssigen Luft Blütenpollen, die diese Abkühlung vertragen, unbegrenzte Zeit ihre Keimfähigkeit bewahren, also gleichsam ewiges Leben besitzen. Daß solche Pollen nach raschem Wiedererwärmen auf die Ausgangstemperatur normale Befruchtung bewirken können, ist kaum zu bezweifeln, soll aber von uns experimentell geprüft werden, gleichzeitig mit der Frage, ob normale Nachkommen entstehen.

Der Befund kann auch für die Pflanzenzüchtung von großer praktischer Bedeutung sein. Für die Kreuzung züchterisch wertvoller Pflanzen ist es wichtig, daß männliche und weibliche Blüten zu gleicher Zeit blühen. Häufig sind die Blühtermine aber verschieden. Es sind daher von verschiedenen Forschern schon mit mehr oder weniger Erfolg Versuche angestellt worden, die Pollen für eine gewisse Zeit lebensfähig zu konservieren, um sie zur Zeit der weiblichen Blüte für die Kreuzung benutzen zu können. Diese Versuche zeigten aber weiter, daß die Pollen verschiedener Pflanzen sich sehr unterschiedlich verhalten, und daß meistens umfangreiche und zeitraubende Untersuchungen notwendig sind, um die für eine spezielle Pflanzenart geeignete Form der Pollenkonservierung zu ermitteln. Wenn diese durch die Aufbewahrung der Pollen bei sehr tiefen Temperaturen zu erreichen ist, so würde damit eine „Universalmethode" der Pollenkonservierung gegeben sein, die allen Schwierigkeiten begegnet.

Staatsinstitut für Angewandte Botanik, Hamburg
G. Bredemann, K. Garber.

Institut für Physikalische Chemie der Universität Hamburg.
P. Harteck, Kl. A. Suhr.

Eingegangen am 8. November 1947.

Über die Vererbung der Plasmonvarianten reciprok verschiedener Epilobium-hirsutum-parviflorum-Bastarde.

An mehreren (22) stark entwicklungsgestörten *Epilobium-hirsutum-* × *parviflorum-*(Weidenröschen-) Bastarden wurden zahlreiche Abänderungen beobachtet, die zu einer sprunghaften oder gelegentlich auch gleitenden Beseitigung der Entwicklungsstörungen führten[1]). Ross[2]) hat in dieser Zeitschrift über meine Beobachtungen kurz berichtet und wird meine Versuchsprotokolle noch ausführlich an anderer Stelle wiedergeben. Von den zahlreichen Abänderungen wurden 11 ausführlich auf ihren Erbgang untersucht. Als Beispiel sei hier zusammenfassend die Vererbung der Abänderung *irregulare* beschrieben.

Verhalten bei vegetativer Vermehrung: Bei *irregulare*-Pflanzen sind die Wuchshemmungen der *hirs.* ♀ × *parv.* ♂-Bastarde weitgehend beseitigt. Es weisen ungefähr $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Blätter infolge von anatomischen Störungen unregelmäßige gelbgrüne bis weißliche Areale oder Ausfälle von ganzen Gewebeteilen auf. Die *irregulare*-Abänderung trat 1941/42 zuerst an zwei verschiedenen *hirs.-parv.*-Bastarden 8mal auf, wurde aber in den folgenden Jahren an insgesamt 2330 Pflanzen 60mal, 1947 erneut an zahlreichen Pflanzen gefunden. Die durch Stecklinge von sieben *irregulare*-Pflanzen gewonnenen Klone wurden durch sechs Jahre in mehr als 700 Klonpflanzen vermehrt. Sie blieben in ihrer Mehrzahl vegetativ völlig konstant. Nur bei 22,1% der Pflanzen traten bevorzugt im Frühjahr in Form vereinzelter Seitentriebe oder Sektoren folgende neue Abänderungen auf: 2,1% *diversivirescens* (normal entwickelt, jedoch blaßgrün), 3,3% *poliogramma* (normal, mit silbrigen Streifen auf den Blättern infolge von Hohlräumen unter der Epidermis), 6,7% *rhytidiophyllum* (normal, gelegentlich dunkelgrüne Eindrücke und Wülste auf den Blättern) und 10,0% *adaequatum* (vegetativ völlig normal, aber wie übrige Abänderungen pollensteril).

Verhalten bei generativer Vermehrung: Der ursprüngliche *hirs.* ♀ × *parv.* ♂-Bastard, der infolge seiner Entwicklungsstörungen normalerweise nicht zur Blüte gelangt, läßt sich durch geeignete Temperaturbehandlung zur Bildung allerdings hochgradig steriler Blüten zwingen. Die wenigen bisher durch Rückkreuzung mit *hirs.* erhaltenen Pflanzen zeigen keine *irr.*-Störungen. Auf den Abänderungen konnten wegen ihrer Pollensterilität anfangs nur Rückkreuzungen ausgeführt werden. Von besonderem Interesse sind die Rückkreuzungen mit verschiedenen *hirsutum*-Sippen, z. B. mit *hirsutum* aus München. Diese *hirsutum*-Sippen zeigen weder nach Selbstung noch nach den verschiedensten Kreuzungen *irregulare* Defekte, auch dann nicht, wenn man sie in den Ausgangsbastard oder in andere Abänderungen dieses Bastardes einkreuzt. Kreuzt man sie aber in die *irregulare*-Abänderung ein ([*hirs.* × *parv.*] *irregulare* ♀ × *hirs.* München ♂), so steigt die Häufigkeit und die Intensität der *irr.*-Störungen mit jeder Rückkreuzungsgeneration an. In den ersten Rückkreuzungsgenerationen tritt noch ein geringer Prozentsatz der auch vegetativ entstandenen Abänderungen auf, in der dritten bis vierten Rückkreuzungsgeneration schwankt die Zahl der Pflanzen mit extremen *irr.*-Störungen zwischen 90 und 100%.

Auffallend ist, daß die einzelnen Triebe eines *irr.*-Klones resp. einer *irr.*-Pflanze Nachkommenschaften mit einer wechselnden Häufigkeit und Intensität der *irr.*-Defekte geben können. Sogar an Blüten, die an einer Pflanze dicht benachbart stehen, können Nach-

kommenschaften mit einer sehr verschiedenen Häufigkeit und Intensität der *irr.*-Störungen entstehen. Es lassen sich daher aus zwei Blüten einer Pflanze Linien ganz verschiedenen Störungsgrades isolieren.

Nachdem unter den Nachkommen der Rückkreuzungen Pflanzen auftraten, an denen *irr.*-Defekte mit Pollenfertilität kombiniert waren, konnten auch blütenreciproke Kreuzungen durchgeführt werden. Zuerst wurden blütenreciproke Kreuzungen vollfertiler *irr.*-Pflanzen mit den verschiedenen *hirs.*-Sippen, später auch ebensolche Kreuzungen der verschiedenen Abänderungen untereinander durchgeführt. Die zahlreichen Kreuzungen zeigten ein sehr eindeutiges Ergebnis: Sämtliche Abänderungen vererben ihre Eigenschaften nur durch die Mutter. Das gilt sowohl für die verschiedenen Intensitätsgrade der *irr.*-Klonlinien wie für die Entwicklungsabweichungen der verschiedenen Abänderungstypen.

Bei diesen Versuchen wurde ausführlich auf die verschiedensten Täuschungsmöglichkeiten geachtet. Bei Bestäubungen mit einzelnen Pollentetraden von *irr.*-Blüten, die mit *hirs.* München rückgekreuzt 97,3% *irr.*-Pflanzen ergaben, traten bei der Kreuzung auf *hirs.* München ♀ nur normale Pflanzen auf, wobei es in einzelnen Fällen gelang, die Nachkommen aller Pollenkörner einer Tetrade aufzuziehen. Eine Gonen- oder Zygotenelimination kommt demnach als Fehlerquelle nicht in Betracht. Nachdem die verschiedenen Abänderungen nur durch die Mutter vererbt werden, ein Mendeln fehlt, nachdem alle Versuche von mir und meinen Mitarbeitern scheiterten, cytologisch oder durch Analyse der reifen Pollentetraden chromosomale Störungen nachzuweisen, und nachdem auch der Verdacht von Viruserkrankungen durch zahlreiche (260) Pfropfungen und Abreibungen (97) widerlegt werden konnte, kann kein Zweifel bestehen, daß zum mindesten *irregulare* und die ebenso ausführlich geprüften Abänderungen: *rhytidiophyllum*, *vernicosum*, *adaequatum* und *transformatum* auf Abänderungen des plasmatischen Erbgutes beruhen. Damit sind erstmalig sichere Plasmonvarianten aufgefunden worden. Eine zusammenfassende ausführlichere Veröffentlichung liegt druckfertig vor[3]). Über weitere Einzelheiten der Plasmonvariation und deren theoretische Bedeutung wird an anderen Stellen zu berichten sein[4]).

Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung, Erwin-Baur-Institut, Voldagsen.

Peter Michaelis.

Eingegangen am 9. Dezember 1947.

[1]) Michaelis, P., u. Ross, H., Über Abänderungen an reciprok verschiedenen und reciprok gleichen Epilobium-Artbastarden. Renner-Festschrift, Flora **37**, 14 — 56 (1943).

[2]) Ross, H., Plasmonbedingte gerichtete Erbvariation an Seitentrieben, Ausläufern und Rosetten von Epilobium-Bastarden. Naturwissenschaften **33**, 316—317 (1946).

[3]) Michaelis, P., Über Abänderungen des plasmatischen Erbgutes. Druckfertig. 34 S., 27 Tab., 25 Fig., kann vom Autor angefordert werden.

[4]) Michaelis, P., Prinzipielles und Problematisches zur Plasmavererbung. Vortrag Dtsch. Bot. Ges. Berlin 24. Nov. (1944). — Ders., Über das genetische System der Zelle. Naturwissenschaften **34**, 18, (1947). — Ders., Über einige Abänderungen an reciprok verschiedenen Epilobium-hirsutum-Sippenbastarden. Zeitschr. f. Vererbl. Im Druck. — Ders., Über die gleitende Veränderung des Plasmotypus. Biol. Centralbl. Im Druck. — Ders., Über parallele Modifikation, Dauermodifikation und erbliche Abänderung des Plasmons. Ztschr. f. Naturf. Im Druck.

Optische und statische Gleichgewichtsreaktionen fliegender Libellen.

Eigene Organe des Gleichgewichtssinnes hat man bei Insekten bisher vergeblich gesucht. Die hier mitzuteilenden Versuche an fliegenden Libellen (Anax, Orthetrum u. a. Anisopteren) zeigen jedoch, daß diese über einen wohlausgebildeten optischen und statischen Gleichgewichtssinn verfügen, wie ihre vollendete Flugtechnik bereits erwarten läßt. Ausgangspunkt ist folgende (unveröffentlichte) Beobachtung v. Holsts, dem ich die Anregung zu diesen Versuchen verdanke: Wird eine im Raum freifliegende Libelle statt von oben plötzlich von unten beleuchtet, so wirft sie sich auf den Rücken und stürzt in Rückenlage ab.

Fig. 1. Libelle, im „Gürtel" aus angeklebten Leinenstreifen in zwei feinen Seidenfäden (F) aufgehängt.

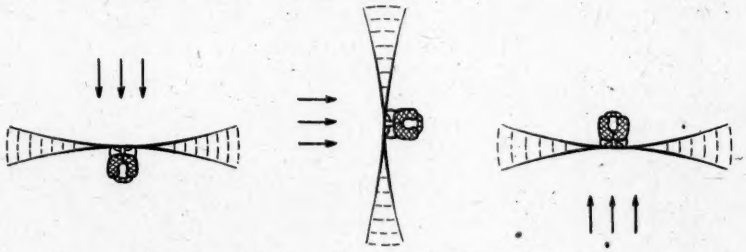


Fig. 2—5. Gleichgewichtsreaktionen einer in der Anordnung von Fig. 1 aufgehängten schwirrenden Libelle, in Ansicht von vorne.

Es bedeuten: parallele Pfeile: Lichteinfall aus einer Richtung; konzentrische Pfeile: allseitige gleichmäßige Beleuchtung; gekrümmter Pfeil: Rollung des Tieres um die Längsachse; L.: Leimtropfen zwischen Kopf und Thorax; S: an Kopfblase geleimtes Eisenstäbchen; M: Magnet. Nähere Erläuterungen im Text.

Zur Analyse dieser „Lichtrückenreaktion" wurde eine Versuchsanordnung angefertigt, die es ermöglicht, die Tiere mittels eines an den Thorax angeklebten Gürtelchens (Fig. 1) ohne Behinderung des Kopfes und der Flügel um die Längsachse drehbar aufzuhängen und während ihres erzwungenen „Auf-der-Stelle-Fliegens" genau zu beobachten: die Libellen schwirren stets mit dem Rücken zum Licht gewendet (Fig. 2). Die Reaktion ist auch bei einseitiger Blendung die gleiche, vorausgesetzt, daß der Kopf in Normallage (Kopfmediane = Körpermediane) fixiert ist (Fig. 3a; vgl. weiter unten). Erst in allseitig diffusem Licht tritt Rollung (= Rotation um die Längsachse) nach der sehenden Seite auf (Fig. 3b). Versuche mit partieller Blendung machen wahrscheinlich, daß dies durch den überwiegenden Einfluß der unteren Augenpartien zustandekommt.

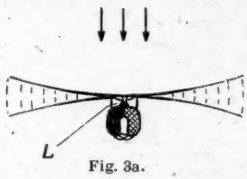


Fig. 3a.

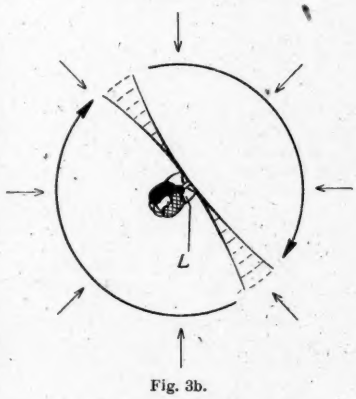


Fig. 3b.

In scheinbarem Widerspruch zu diesem „phototelotaktischen" Orientierungsverhalten fliegt eine intakte

Libelle, der man mittels eines Leimtropfens den Kopf etwa 60° um die Längsachse gedreht am Thorax festlegt, freigelassen in ständiger Rollung nach dieser Seite herum vorwärts (genau so wie ein Fisch nach einseitiger Labyrinthexstirpation vorwärtsschwimmt). Nähere Beobachtung ergibt, daß der Kopf durch die Art seiner Aufhängung (die beiden den Kopf haltenden Chitinstäbchen — Cervicalien — des Halses inserieren direkt nebeneinander am Kehlsporn) bei Drehbeschleunigungen des Körpers um die Längsachse zunächst infolge seiner Trägheit zurückbleibt und sich nach einigen stark gedämpften Schwingungen wieder in Normallage einstellt. Der Schwerpunkt des Kopfes liegt sehr nahe dem Aufhängepunkt. Die Eigenfrequenz der angestoßenen Kopfschwingung beträgt bei großen Formen etwa 2—3 Hertz. Durch aktiven Muskelzug kann die Libelle ihr „Kopfpendel" festlegen („festzurren").

Wird in der Versuchsanordnung von Fig. 1 einer diffus allseitig beleuchteten schwirrenden Libelle, der ein Eisenstäbchen an die Kopfblase geleimt wurde, der Kopf durch Annähern eines Magneten gedreht, so folgt der Körper dieser Drehung sofort aktiv (= reflektorisch) nach (Fig. 4). Schieflage des Kopfes durch einseitige Belastung bewirkt reflektorisch entsprechende Schiefstellung des Tieres, Ankleben des Kopfes am Rumpf in gedrehter Stellung anhaltende Rollungen wie im Freiflug (Fig. 5).

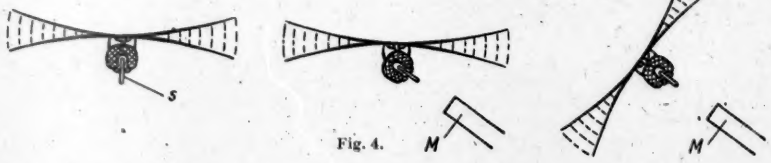


Fig. 4.

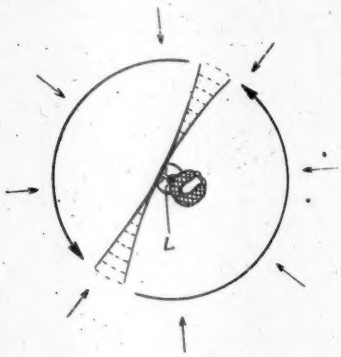


Fig. 5.

Das bisher vermißte *statische Organ* der Libelle ist also der *ganze Kopf*. Er spricht — vergleichbar unserem Bogengangsystem — auf Drehbeschleunigungen des Körpers um seine Längsachse an. Darüber hinaus könnte er auch — einem Statolithenapparat vergleichbar — Orientierung nach der Erdschwere ermöglichen, solange Schwerpunkt und Aufhängepunkt nicht genau zusammenfallen. Symmetrische Festlegung des Kopfes am Rumpf mittels Leimtropfen bewirkt dementsprechend Ausfall aller statischen Reflexe; ein solches allein auf die Lichtrückenreaktion angewiesenes Tier fliegt deutlich unsicher und um die Längsachse pendelnd. Analoges Pendeln (hier nur des Kopfes) kennt man z. B. vom beidseitig labyrinthlosen Vogel.

Das „Festzurren" des Kopfes, d. h. also *aktive* Ausschaltung der Statoreflexe, bedeutet wohl eine Schutzmaßnahme für das empfindliche Kopfgelenk; es findet häufig in der Ruhe statt, wird aber vermutlich auch im Fluge bei aktiven Kopfbewegungen (Verschlingen von Beute im Flug!) und vielleicht bei Gefährdung durch Aufprallen betätigt.

Die noch unbekannten Rezeptoren des statischen Sinnes dürften am Kopfgelenk oder im Hals zu suchen sein.

Heidelberg, Zoologisches Institut, den 15. Nov. 1947.

Horst Mittelstaedt.

Eingegangen am 5. Dezember 1947.

Über nicht kopulierende Chlamydomonas-Zellen.

Im Jahre 1934 wurden in einer Erdprobe, die aus der Umgebung von Coimbra (Portugal) stammte[1]), *Chlamydomonas*-Zellen gefunden, die in ihren morphologischen Eigenschaften mit *Chl. eugametos* f. *typica*[2]) übereinstimmten. Nachdem 5 Einzell-Kulturen angewachsen waren, ergab sich, daß die Zellen weder untereinander noch mit ♀ und ♂ *typica*-Gameten kopulierten. Daher wurde die neue Rasse f. *agametos* genannt.

Filtriert man bewegliche *agametos*-Zellen ab, bringt in das Filtrat kopulationsfähige ♀ und ♂ *typica*-Gameten, so verlieren diese innerhalb von wenigen Minuten ihr Kopulationsvermögen. Die *agametos*-Filtrate haben keinen Einfluß auf Geißelbildung und Beweglichkeit; ihre kopulationsverhindernde Wirkung ist nicht geschlechtsspezifisch.

Alle Versuche, die *agametos*-Zellen doch zur Kopulation zu bringen, indem man den Zellsuspensionen natürliches Gynotermon, Isorhamnetin, natürliches Androtermon, Safranal, natürliche Gyno- und Androgamone verschiedener Rassen zusetzte, sind ergebnislos verlaufen. Chemotaxis-Versuche[3]) haben ergeben, daß die Zellen aller 5 *agametos*-Klone gegen die Gamone von starken und überstarken ♂ Gameten sowie gegen eine gesättigte, wäßrige Lösung von trans-Crocetindimethylester nicht chemotaktisch sind, ein Hinweis dafür, daß die *agametos*-Zellen offenbar die durch trans-Crocetindimethylester ersetzbare Endstufe K_0[4]) sezernieren. Wenn das der Fall ist, dann sollte es gelingen, die *agametos*-Zellen durch Zufügen der durch cis-Crocetindimethylester ersetzbaren Vorstufe V[4]) zur Kopulation zu bringen. In der Tat werden die Zellen von 3 *agametos*-Klonen durch ein Vorstufen-Filtrat von *typica*-Zellen zu ♂ Gameten, die Zellen der 2 anderen Klone zu ♀ Gameten. Die Gametenvalenz ist in beiden Fällen 3 (stark). Etwa 10 Minuten nach dieser Behandlung verlieren die ♀ und ♂ *agametos*-Zellen wieder ihre Kopulationsfähigkeit.

Die durch Vorstufen-Filtrate kopulationsfähig gemachten ♀ und ♂ *agametos*-Zellen können nun mit *typica*-Gameten gekreuzt werden. Die Gonenaufzucht aus Bastardzygoten ergibt eine 1 : 1-Spaltung, d. h. 50% der Gonen sind normal, 50% nicht kopulationsfähig. Das für das *agametos*-Verhalten verantwortliche Gen *ru*+ gehört der 4. Koppelungsgruppe[5]) an. Wird f. *agametos* (*ru*+ *mot*+) mit einer (ru^0 mot^0)-Mutante[6]) gekreuzt, dann werden in der Nachkommenschaft u. a. *ru*+ mot^0-Zellen erhalten, die weder Geißelbildungsstoff, Gamon noch Termon bilden. Die Züchtung dieses Typs ist von großem Vorteil, weil der *ru*+-Hemmstoff in weit größerer Menge gebildet wird als in *ru*+ *mot*+-Zellen. Dieser neue *ru*+ mot^0-Stamm wurde auf Knop-Agar an einer künstlichen Sonne ver-

mehrt und diente als Ausgangsmaterial für die Isolierung des kopulationsverhindernden Wirkstoffes[7]).

Heidelberg, Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung.

Franz Moewus.

Eingegangen am 15. März 1948.

[1]) Für die Übersendung der Erdprobe sind wir Prof. Aurelio Quintanilha zu großem Dank verpflichtet.
[2]) Moewus, F. Zeitschr. f. ind. Abst.- u. V.lehre **78**, 484 (1940).
[3]) Moewus, F. Arch. f. Protistenkde. **92**, 485 (1939).
[4]) Kuhn, R. Moewus, F. Jerchel, D. Ber. D. Chem. Ges. **71**, 1541 (1938).
[5]) Moewus, F. Zeitschr. f. ind. Abst.- u. V.lehre **78**, 521 (1940).
[6]) Kuhn, R. Moewus, F. Ber. D. Chem. Ges. **73**, 547 (1940).
[7]) siehe nachstehende Mitteilung.

Krystallisation des kopulationsverhindernden Wirkstoffs von Chlamydomonas agametos.

Es standen 1,7 g bei 50° getrocknete grüne *ru+mol°*-Zellen von *Chlamydomonas eugametos f. agametos* zur Verfügung, die nach dem in der voranstehenden Mitteilung beschriebenen Verfahren auf Agar gezüchtet waren. Dieses Material wurde zweimal mit je 250 ccm Methanol auf dem Dampfbad (je 1 Stunde) ausgekocht und der gesamte tiefgrüne Auszug nach dem Filtrieren im Vakuum auf 17,5 ccm eingeengt. Nach Zusatz von 35 ccm Wasser wurde durch Filtration über Talcum von Chlorophyll befreit und die nunmehr gelbe Lösung erneut auf 2 ccm eingedampft. Nach 48 Stunden hatten sich 12 mg hellgelbe Nädelchen abgeschieden, die unter Zusatz von etwas Carboraffin aus 3 ccm heißem Wasser umkrystallisiert wurden (5 mg).

Die Substanz stimmt im Schmp. (190°, Zersetzung bei 200°) sowie krystallographisch (Auslöschungsschiefen gemessen im Polarisations-mikroskop und Debye-Scherrer-Aufnahmen, die wir Herrn Dr. Herbert Friedrich in Ludwigshafen a. Rh. verdanken) mit *Rutin-monohydrat* aus Buchweizen überein. Eine Lösung von 1 mg in 10^7 ccm Wasser genügte, um die Kopulation von Chlamydomonas-Zellen (2.10^6 Zellen je ccm) eben noch vollständig zu unterdrücken. Für Rutin-Präparate aus *Fagopyrum esculentum*, *Ruta graveolens* und aus Samen von *Rhamnus utilis* ergab sich genau dieselbe Wirksamkeit (50 000 Molekeln Rutin auf 1 Zelle).

Der kopulations-verhindernde Wirkstoff von *Chlamydomonas agametos* ist auf Grund dieser Übereinstimmungen sehr wahrscheinlich Rutin (Quercetin-3-rutinosid), dessen Vorkommen in einzelligen Algen unseres Wissens bisher unbekannt war. Die biologische Wirkung der Kulturfiltrate wird durch die aus den Zellen isolierte Rutin-menge verständlich. In zahlreichen Untersuchungen aus unserem Institut ist der Nachweis erbracht worden, daß eine ganze Reihe von Wirkstoffen, die bei der Kopulation und Geschlechtsbestimmung von Chlamydomonas im Spiele sind, durch krystallisierte, in ihrer Konstitution bekannte Verbindungen aus den Sexualorganen höherer Pflanzen u. a. ersetzt werden können[1]). Im Rutin liegt der erste Wirkstoff dieser Gruppe vor, der aus den Algenzellen selbst krystallisiert erhalten wurde.

Heidelberg, Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung, Institut für Chemie.

Richard Kuhn und Irmentraut Löw.

Eingegangen am 10. Februar 1948.

[1]) Die kopulationsverhindernde Wirkung von Rutin aus *Ruta graveolens* haben bereits R. Kuhn, F. Moewus und J. Löw, Ber. dtsch. chem. Ges. **77**, 219 (1944) beschrieben. 23 weitere Flavonol- und Flavanon-glykoside, die geprüft wurden, waren unwirksam.

Besprechungen.

Bernhard Bavink, **Was ist Wahrheit in den Naturwissenschaften?** 84 S., Eberhard-Brockhaus-Verlag, Wiesbaden 1947.

Der Mann, den man wohl als den besten aller Popularisatoren der Naturwissenschaft bezeichnen muß, welche Deutschland in den letzten Jahrzehnten besaß, verfolgt mit dieser kleinen nachgelassenen Schrift das Ziel, einen Nihilismus zu bekämpfen, der auf *keinem* Gebiet mehr objektive Werte anerkennt. Er tritt ihm mit dem Nachweis entgegen, daß jedenfalls in der Naturwissenschaft Wahrheit, objektive, vom Menschlich-Zufälligen unabhängige Wahrheit zu finden ist. Und er läßt das Büchlein dahin ausklingen, daß, wenn dies eingesehen ist, auch auf anderen Gebieten Grund zum Glauben an objektive Werte vorliegt. Nie war eine solche Bekämpfung zeitgemäßer, ja notwendiger, wie heute, da die Jungen — aber nicht sie allein — durch jahrelange politisch-propagandistische „Schulungen" irregeführt und jetzt, nach dem Zusammenbruch dieses Lügengebäudes, an schlechthin allem irre geworden ist.

Die Waffen zu diesem Kampf sucht der Verfasser der Erkenntnistheorie zu entnehmen und setzt sich dazu mit denjenigen Richtungen auseinander, welche, wie z. B. der Positivismus, die Aussagen der Naturwissenschaft nur als Konvention oder als biologisch, womöglich rassemäßig bedingt, oder als Ausflüsse einer mit den Zeiten wechselnden „Kulturseele" gelten lassen. Er stellt ihnen (S. 55) als Wahrheitskriterium ein „Konvergenzprinzip" gegenüber: „Die naturwissenschaftlichen Urteile beziehen den Grund ihrer Geltung und das Zutrauen in diese Geltung letzten Endes aus dem Umstande, daß ihre an sich sämtlich mit einem mehr oder minder großen Unsicherheitskoeffizienten behafteten Einzelsätze sich im Laufe der Entwicklung immer besser und vollständiger zu einem in sich geschlossenen, widerspruchsfreien, logischen System zusammenfügen, und zwar gerade nicht auf Grund neuer Konventionen, sondern aus sich selbst, meist zur großen Überraschung der Forscher selber." Oder etwas später (S. 61): „Wenn es auch kein absolutes Wahrheitskriterium gibt, nach dem a priori entschieden werden könnte, wieviel und was an jedem einzelnen Satze der Naturwissenschaft wahr ist, so gibt es doch eins für das Gesamtsystem, nämlich das Kriterium der Konvergenz der Teilergebnisse. Wahr in den Naturwissenschaften ist das, was sich in das Gesamtsystem der Erkenntnisse harmonisch einfügt."

Wie man sich auch sonst zu den philosophischen Ausführungen des Autors stellen mag, diesem (wohl kaum ganz neuen) Kriterium wird jeder Naturforscher von Herzen zustimmen. Man muß das kleine Buch überhaupt weniger für eine wissenschaftlich-philosophische Abhandlung nehmen, als für einen warmherzigen, vor allem an die deutsche Jugend gerichteten Appell (oder soll man sagen: für das Testament des Verstorbenen?), sich aus Verzweiflung emporzuraffen und aufzurichten durch Versenkung in ein Gebiet, auf dem wohl am leichtesten noch die Gewißheit eines über dem Individuum und über jeglicher Menschengruppe stehenden Wertes zu gewinnen ist.

M. v. Laue.

Eingegangen am 2. Januar 1948.

Otto H. Schindewolf, **Fragen der Abstammungslehre.** Aufsätze und Reden der Senckenbergischen Naturf. Ges. **I**, 1—23, Frankfurt a. M. (Dr. Kramer) 1947.

Robert Mertens, **Die „Typostrophen-Lehre" im Lichte des Darwinismus.** — ebd. **2**, 1—31, 1947.

Diesen beiden Büchlein eines Paläontologen und eines Zoologen liegt die ausgezeichnete Idee zugrunde, einen weiteren Leserkreis mit zwei entgegengesetzten Vorstellungen über die Abstammungslehre bekanntzumachen, d. h. nicht nur fertige Ergebnisse vorzuführen, sondern auch den Fernerstehenden einmal mitten in den Streit der Meinungen zu versetzen. So gesichert die Abstammungslehre als Ganzes ist, so verschieden sind noch die Anschauungen über viele Einzelheiten und vor allem über die Ursachen des Formenwandels, wie ihn die Paläontologie in zahllosen Beispielen festgestellt hat. Einen Kernpunkt der Erörterungen Schindewolf's und Mertens' bildet die „Lückenhaftigkeit der Überlieferung" — die Tatsache, daß Verbindungsglieder zwischen den mannigfachen fossilen Organismen, die berühmten „missing links", in der Regel fehlen. Mertens erklärt das damit, daß

uns diese fossilen Formen nur nicht bekannt seien und glückliche Funde sie noch ans Tageslicht bringen würden: „Man warte ... noch ein weiteres Jahrhundert ab; die Lücken werden sich weiter vermindern und damit die Notwendigkeit zu neuen Hypothesen." Darnach ergibt sich kein Grund, die darwinistische Anschauung von zahllosen kleinen Mutationsschritten und „zweckmäßiger" Selektion zu verlassen.

Für Schindewolf dagegen besteht kein Zweifel, daß die „missing links" überhaupt nie fossil geworden sind; denn die Entstehung neuer Typen von der Größenordnung einer Gattung aufwärts spielt sich nach ihm in frühontogenetischen, also nicht durch besondere Fossilien dokumentierten Stadien ab. Nur die Artbildung mag durch Vorgänge, wie sie Darwin annahm, vor sich gehen. Aber neue Gattungen, Familien usw. entstehen nicht auf diese Weise, sondern durch „Großmutationen" in frühen Stufen der Keimesentwicklung. Diese stürmische, grundlegend Neues schaffende Phase der Entwicklung wird Typogenese genannt; sie hat relativ kurze Zeitdauer (bei den Equiden z. B. 5 Mill. Jahre). Es folgt die langanhaltende Zeit der Typostase, d. h. fortschreitender Differenzierung auf dem Wege des Artenwandels, und den Abschluß bildet die Phase der Typolyse mit Auflösungserscheinungen, so daß jede Typenumprägung oder Typostrophe in drei verschiedene Abschnitte zerfällt, die sich auch paläontologisch belegen lassen.

Auch der Zoologe vermag seinen Standpunkt durch Beispiele zu bekräftigen, im übrigen aber ergibt sich doch, welche Fülle von Fragen noch der Lösung harrt. Bemerkenswert erscheint, wie bei stammesgeschichtlichen Untersuchungen mehr und mehr die absolute Zeit in Rechnung gesetzt wird, nachdem die geologische Chronologie dazu einigermaßen gesicherte Angaben liefert.

M. Schwarzbach.

Eingegangen am 2. Januar 1948.

Erwin Bünning, **In den Wäldern Nord-Sumatras.** Reisebuch eines Biologen. Bonn, 187 S., 22 Fig., 131 Abb. F. Dümmler, 1947.

Der Verfasser hat kurz vor dem Kriege Sumatra und Java bereist und dabei besonders das noch wenig erforschte Nord-Sumatra, auch in der Regenzeit, sehr gut kennengelernt. Seine Darstellung ist in den Rahmen der Beschreibung der einzelnen Reisen gekleidet. Deren Erlebnisse werden mit Ausblicken auf Land und Leute in einfacher, klarer Sprache geschildert. Weitaus der Hauptteil des Textes ist aber der Auseinandersetzung mit der Vegetation gewidmet. Und hier ist es nun außerordentlich reizvoll zu sehen, welche Fülle von Anregungen für das Verständnis der Physiologie und Oekologie der tropischen Pflanzenwelt der Verfasser seinem bevorzugten physiologischen Arbeitsgebiet, der endogenen Rhythmik der Pflanzen, zu entnehmen weiß — daneben noch so manche andere Erscheinung, wie etwa die Lichtverteilung, die Notwendigkeit und Art des Strahlungsschutzes, die CO_2-Produktion und Humuszersetzung, den Wasserhaushalt von Nepenthes, die Bestäubungsökologie von Rafflesia, die Oekologie der Mangrove, die Hitzeresistenz der Bewohner heißer Quellen durch Beobachtungen und Gedanken und orientierende Versuche prüfend und klärend. Dadurch wird das mit 131 Photographien im zeitbedingten Rahmen vorzüglich ausgestattete Büchlein zu einer sehr anregenden Bereicherung der „Physiologischen Pflanzengeographie" im Sinne Schimpers.

F. Firbas.

Eingegangen am 2. Januar 1948.

Carl Noeggerath, **Von der geistigen Wurzel der Medizin.** 52 S. Karl-Alber-Verlag, Freiburg i. Br. 1947.

Ein „Bekenntnis zur Universitas artium et litterarum" nennt sich die Schrift des Freiburger Ordinarius für Kinderheilkunde. Sie ist hervorgegangen aus einem Ehrenkolleg, zu dem die Medizinische Fakultät der Universität Freiburg den verdienten Forscher und Kinderarzt aus Anlaß seines 70. Geburtstags aufgefordert hatte, eine im akademischen Leben neuartige, jedenfalls aber beachtliche Auszeichnung, die dem Jubilar Anlaß ward, *Historisches und Grundsätzliches über die Verwurzelung wahren Arztlums in der abendländischen Kultur*, insbesondere mit den Geisteswissenschaften, und an einem vortrefflich gewählten Beispiel *die Denkarbeit des heutigen Arztes* darzustellen. Es handelt sich um eine auch den Nichtmediziner ungewöhnlich fesselnde, weil in letzte und tiefste Schichten durchstoßende Analyse eines gefürchteten Krankheits, bildes des Säuglings, des Koma dyspepticum infantum- und seiner Behandlungsgrundlage.

Beide Teile, der grundsätzliche und der praktische, durchdringen sich fruchtbarst. Um die Art des heutigen ärztlichen Denkens zu zeigen, also in das Zentrum der gediegensten und umfassendsten Forscherarbeit einzudringen, führt Verfasser — in einem festlichen Stile — gleichsam in die Vorhalle, die von den Griechen errichtet worden ist und nach des Verfassers eigenen Worten die *Bindung des heutigen Arztes an die ethische, künstlerisch-intuitive und geistige Leistung des klassischen Griechentums* bedeutet. In lapidarer Kürze zeichnet er die Großleistungen der griechischen Kultur, wobei sowohl über die Polarität der apollinischen und chthonischen Gottheiten wie über die — für geistiges Schaffen hochwichtige — Zwiespältigkeit des griechischen Wesens (S. 12) und das sprunghafte „Auf und Ab" seiner Geschichte geradezu Grundlegendes geboten wird. Erfüllt von der Größe des Hippokrateswortes *ἰητρὸς φιλόσοφος ἰσόθεος* zeigt N. die Notwendigkeit, in die Medizin philosophisches (bzw. naturwissenschaftliches) Denken und in dieses medizinische Forschung hineinzuführen, d. h. nichts anderes als Natur- und Geisteswissenschaft zu vermählen. Gründlichste Kenntnis der neuesten Forschungen zur griechischen Geschichte, Philosophie und Mythologie, ja zur griechischen Kunst paart sich hier mit einer wohltuend berührenden Ehrfurcht vor dem Ethos der griechischen Medizin, wie sie nur dem an der Antike Geschulten und Gewachsenen eigen ist.

Was die Analyse des Krankheitsbildes des *Koma dyspepticum infantum* anlangt, so wird hier weder eine Lehrbucharbeit noch die Darstellung eines Schulfalles geboten. Schritt für Schritt geht der Verfasser vor und bringt zunächst eine vorbildliche *Symptomatologie*, auf die hier in Einzelheiten nicht eingegangen werden kann. Besonders wertvoll ist bei der Darbietung einmal die beständige, bis ins Letzte hineinleuchtende *Aetiologie*, sodann die — methodisch glänzende — *Vertiefung jedes Exkurses*, der stets notwendig und anregend wirkt, z. B. bei den Vergleichen der Säuglinge mit den Erwachsenen in Fragen der Vitalität oder Labilität, oder bei Bemerkungen über Zahlenwerte (dabei feine Vergleiche zwischen neolithischen, sumerischen und ägyptischen Leistungen auf der einen und griechischen auf der anderen Seite), oder bei Untersuchungen über die erhöhte Beeinflußbarkeit des Zellebens während der Perioden stärksten Wachstums, über die ungeheure Leistungskraft des Herzens im Säuglingsalter oder aber die *Anfälligkeit der Atmung und des gesamten Magen-Darmkanals*. Dabei werden die Ergebnisse der Untersuchung durch Tabellen veranschaulicht und auf knappste und verständlichste Formulierungen gebracht.

Ob der Verfasser über den Kalorienbedarf des Säuglings spricht oder über das Problem der natürlichen Brusternährung, der Infekte oder der „zur Zeit auch für die allerschwerst erkrankten Säuglinge äußerst angespannten" Ernährungslage, immer hat man das Gefühl einer souveränen inneren Konzentration, die nicht bloß das Für und Wider in der Pathogenese jener „Stoffwechselkatastrophe" genauestens abzuwägen weiß, sondern die unendliche Verflechtung und Variationsmöglichkeit der Funktionsstörungen in jedem Augenblick überschaut und auswertet.

Als Ganzes betrachtet — eine Leistung, die im Sinne W. Hellpach's Forschen im engeren Wortsinn und Gelehrtenarbeit zugleich ist und die ich nicht besser zu charakterisieren wüßte als mit einem Ausdruck Noeggeraths — sie ist wirklich von den „Emanationen der abendländischen Kultur in ihrer deutschen Prägung durchdrungen". Eine im höchsten Wortsinne *eigene* Arbeit, die es getrost wagen darf, um im Stile des Festredners zu schließen, „die wenigen steilen Stufen bis zur Cella der eulentragenden Athene" aufzusteigen!

B. v. Hagen.

Eingegangen am 14. Januar 1948

Berichte.

Die Chemie der Silikone.

Von Robert Schwarz, Lübbecke (Westf.).

Die chemische Technologie der Siliciumverbindungen, bisher ausschließlich auf anorganische Produkte der Keramik und Glasindustrie, auf Zement, Ultramarin, Silicagel, Wasserglas und allerhand andere Stoffe silikatischen Charakters beschränkt, hat in den letzten Jahren eine neuartige überraschende Ausweitung durch die Nutzbarmachung siliciumorganischer Verbindungen erfahren. Schon während des Krieges, besonders aber bald nach der Kapitulation Deutschlands, kamen zu uns zunächst recht allgemein gehaltene, meist feuilletonistisch abgefaßte Pressenotizen über neuartige Kunststoffe von vielseitiger Anwendungsmöglichkeit und erstaunlichen Eigenschaften, die unter dem Namen „Silikone" in den Vereinigten Staaten von Amerika entwickelt worden seien. Um was es sich im Prinzip handelte, wurde bald klar, und allmählich konnte man sich auch an Hand von Referaten über amerikanische wissenschaftliche Arbeiten und Patente ein genaueres Bild von dem neuerschlossenen Gebiet machen. Hierbei schon ergab sich, daß die amerikanischen Chemiker mit der Erforschung der Silikone in wenigen Jahren mit einem gewaltigen Arbeitsaufwand wissenschaftlich und technisch gleichbedeutende Erfolge auf dem Kunststoffgebiet erzielen konnten.

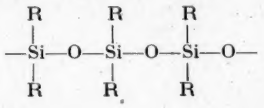
Da einer der Hauptbearbeiter des neuen Gebietes, Eugene G. Rochow (im Research Laboratory der General Electric Company tätig), vor einiger Zeit in Buchform eine „Einführung in die Chemie der Silikone"[1]) herausgegeben hat, sind wir jetzt in der Lage, uns, gestützt auf diese Monographie und eine Anzahl zugänglicher Patentschriften, einen klaren Einblick in das in Rede stehende Gebiet zu verschaffen. Im folgenden sei das neue Kapitel der Siliciumchemie, welches allgemeines Interesse beanspruchen darf, in Kürze zusammenfassend dargestellt.

Allgemeiner Überblick.

Wissenschaftlich gesehen ist das Gebiet keineswegs neu. Die ersten Silikone kamen Fr. St. Kipping[2]), der auch den Namen prägte, bei seinen umfangreichen Arbeiten über siliciumorganische Verbindungen in die Hand. Er hat von 1901 bis 1944 über 50 Veröffentlichungen auf diesem Gebiete gemacht. Hierbei entdeckte er unter anderem auch das *Prinzip der intermolekularen Kondensation der Silandiole*, der Hydrolysenprodukte der Dialkylsilandihalogenide, auf der letztlich die ganze Chemie der modernen Silikone basiert:

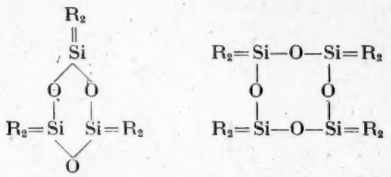
$$\underset{\text{Dichlorid}}{R_2SiCl_2} \rightarrow \underset{\text{Diol}}{R_2Si(OH)_2} \rightarrow \underset{\text{Silikon}}{[R_2SiO]_x}.$$

Die Unfähigkeit des Siliciums, ein monomeres, den Ketonen R_2CO entsprechendes Molekül zu bilden, unterscheidet es scharf vom Kohlenstoff. (Der Name Silikon, dem Keton angepaßt, ist daher auch nicht ganz präzis.) Hier, wie in allen anderen Fällen der Siliciumchemie, tritt in dem Augenblick, wo die Koordinationszahl 4 in der Grundform nicht erfüllt ist, sogleich Polymerisation zwecks Erfüllung dieser prinzipiellen Forderung auf. Aus diesem Grunde ist das SiO_2 im Gegensatz zum CO_2 nicht monomer, sondern ein Gefüge aus SiO_4-Tetraedern, die unter sich jeweils ein O-atom gemeinsam haben. Das gleiche gilt für die Silikate, die sämtlich diesem Bauprinzip unterliegen. So wird also auch aus dem einfachen nicht existenzfähigen R_2SiO ein polymeres Gebilde



das nach der allgemeinen Nomenklatur von Alfred Stock als ein „*Siloxan*" zu bezeichnen ist. Denkt man sich R durch O ersetzt, so hat man das Skelett eines Silikates und begreift damit sogleich den engen Zusammenhang zwischen Silikonen und Silikaten. Da die Si-R-Bindung sehr fest und widerstandsfähig gegen Oxydation ist, nähert sich das siliciumorganische Molekül den Eigenschaften der Silikate mit ihrer Unerschütterlichkeit bei chemischer und thermischer Beanspruchung. Die in den Silikonen erreichte „Kreuzung" zwischen anorganischer und organischer Materie ist es, was das Gebiet auch in allgemeinchemischer Hinsicht so bemerkenswert macht. Einförmigkeit im Grundskelett und Reaktionsträgheit der Silikate ist mit Vielgestaltigkeit und Reaktionsfreudigkeit organischer Radikale gekoppelt. In der Siloxankette verschwindet die den eigentlichen kettenförmigen Siliciumverbindungen eigene Unbeständigkeit, die wesentlich größer als bei den formal übereinstimmenden Kohlenstoffverbindungen ist. In den den Paraffinen analog gebauten Silanen (SiH_4 bis Si_6H_{14}) geht nach den Untersuchungen von A. Stock[3]) die Kettenlänge nicht über 6 hinaus, und die Kette wird schon bei Raumtemperatur durch Luftsauerstoff unter Entflammung oxydiert, durch wäßriges Alkali unter Bildung von Wasserstoff und Alkalisilikat aufgesprengt. Auch die von R. Schwarz[4]) dargestellten langgliedrigen Siliciumchloride vom Typus Si_nCl_{2n+2}, die im $Si_{25}Cl_{52}$ eine wahrhaft „organische" Kettenlänge erreichen, sind thermisch instabil und gegen Wasser unbeständig. Erst in dem Augenblick, wo ein Teil der Chloratome gegen organische Radikale ausgetauscht ist, ändert sich das Bild. Jetzt entsteht bei der durchgreifenden Hydrolyse nicht einfache Kieselsäure, sondern ein organisch substituiertes Siloxan.

Die Kondensation der Silandiole führt im einfachsten Falle zu einer Kette, sie kann aber, ebenso wie bei den Silikaten, zu Ringstrukturen führen. Fr. Kipping hat bereits 1912 vom Diphenylsilanchlorid $(C_6H_5)_2SiCl_2$ ausgehend die ringförmigen trimeren und tetrameren Verbindungen



isoliert und aufgeklärt. Die Ringbildung geht über 5- und 6gliedrige Gebilde hinauf bis zu solchen mit 18 und mehr Gliedern. Da aber bei der Polymerisation auch, wie weiter unten noch gezeigt wird, Netzstrukturen entstehen können, ist der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen kaum eine Grenze gesetzt, und es wird so ohne weiteres verständlich, warum schon bei Benutzung ein und desselben Ausgangsstoffes die verschiedenartigsten Endprodukte zustandekommen, die uns in Form von Ölen, Harzen oder Gummis entgegentreten.

Nach diesen allgemein orientierenden Bemerkungen sei nun zunächst einiges über

das Ausgangsmaterial und seine Darstellung

gesagt. Die *Alkylsiliciumchloride*, vornehmlich interessieren die Dichloride R_2SiCl_2, können auf verschiedenen Wegen erhalten werden:

1. Durch Substitution des Cl im $SiCl_4$ mit Hilfe von Zink-, Aluminium- oder Quecksilber-Alkylen. Es ist die älteste Methode, nach der Friedel und Crafts sowie Ladenburg arbeiteten, so z. B.

$$Hg(C_6H_5)_2 + SiCl_4 = C_6H_5SiCl_3 + C_6H_5HgCl.$$

2. Nach der Wurtz-Reaktion durch Kondensation mit Natrium

$$2\,C_2H_5Cl + SiCl_4 + 4\,Na = SiCl_2(C_2H_5)_2 + 4\,NaCl.$$

Diese Reaktion gibt jedoch schlechte Ausbeuten, weil sie in der Hauptsache zu völliger Substitution, also zu Tetraalkylsilicium führt. Sie ist daher nur zur Darstellung der hier nicht interessierenden Tetraalkylsilane geeignet. In neuester Zeit haben aber Schumb und Saffer[5]) die Methode in eine Zweistufenreaktion abgewandelt, die eine bessere Lenkung erlaubt. In erster Stufe reagiert das Natrium nur mit Alkylchlorid zu Alkylnatrium. Ist die Reaktionswärme abgeklungen, wird das Alkylnatrium in Lösung mit gelöstem Siliciumtetrachlorid versetzt und es verläuft nun die Reaktion gemildert und bei Unterschuß des Alkylnatriums unter Bildung teilsubstituierter Produkte wie $RSiCl_3$ und R_2SiCl_2.

3. Durch Organomagnesiumverbindungen nach Grignard. Diese schon von Kipping[6]) und Dilthey[7] verwendete Methode ist wohl das beste Verfahren. Das Grignard-Reagens RMgCl wird in geeigneter Menge zu einer Lösung des $SiCl_4$ oder der Si-Ester unter Kühlung zugegeben. Das Reaktionsprodukt wird wie üblich durch Destillation abgetrennt.

$$2\,(CH_3)MgCl + SiCl_4 = (CH_3)_2SiCl_2 + 2\,MgCl_2.$$

Bei trägen Reaktionen, wie bei den höheren Arylmagnesiumhalogeniden, wird das Lösungsmittel verdampft und die Mischung von Grignard-Reagens, Siliciumhalogenid und den teilweise umgesetzten Substanzen für mehrere Stunden nach Cusa und Kipping[8]) auf 160—180° erhitzt.

Bei der Grignard-Reaktion entstehen zwar auch alle Stufen der Substitution von $RSiCl_3$ über R_2SiCl_2, R_3SiCl bis R_4Si und man erhält stets ein Gemisch der gewünschten Verbindung mit den mehr oder weniger hoch alkylierten Homologen, aber die Reaktionsfähigkeit des symmetrischen R_2SiX_2 ist kleiner als die der unsymmetrischen Moleküle, und dies macht die Reaktion gerade für die Darstellung der Verbindungen vom Typus R_2SiCl_2 geeignet.

4. Durch Anlagerung ungesättigter Kohlenwasserstoffe an Siliciumtetrachlorid nach J. J. Shtetter[9]). Bei Drucken von 90 bis 100 Atm. und Anwesenheit von Metallchloriden, wie Aluminiumchlorid, wird Äthylen angelagert nach

$$C_2H_4 + SiCl_4 = ClC_2H_4SiCl_3.$$

Acetylen liefert β-Chlorvinyl-siliciumtrichlorid

$$C_2H_2 + SiCl_4 = ClCH{=}CH\,SiCl_3.$$

Da die Reaktion aber aufhört, sobald ein Äquivalent des Kohlenwasserstoffes angelagert ist, bleibt sie auf die Darstellung von Trichlorsilanderivaten beschränkt.

5. Durch die Synthese nach Rochow[10]). Sie gestattet die Anlagerung von Halogen und organischen Gruppen an Silicium in einer einzigen Operation und gibt gute Ausbeuten an R_2SiX_2. Vermutlich ist dies das bevorzugte großtechnische Verfahren. Ihm liegt die einfache Gleichung $2\,RX + Si = R_2SiX_2$ zugrunde, und es wird durchgeführt, indem über gepulvertes Silicium, das mit einem Katalysator wie Kupfer gemischt ist, der Dampf des Alkylhalogenids bei einer Temperatur von 275 bis 400° geleitet wird. Die Menge des Kupfers im Silicium beträgt 10—20 Gew.-Proz. Das Si-Cu-Gemisch wird bei 700—1050° gesintert. Eine gewisse Oxydation des Kupfers durch Luftsauerstoff soll die Ausbeute wesentlich steigern helfen. Es ist anzunehmen, daß die erste Stufe der Reaktion nach $2\,Cu + CH_3Cl = CuCH_3 + CuCl$ verläuft. Das Kupfermethyl ist instabil und zerfällt in Kupfer und freies Methyl, das durch die Methode von F. Paneth mittels seines Vermögens, einen Bleispiegel aufzuzehren, nachgewiesen werden kann. Der Zerfall läuft bei 250° in etwa 0.003 sec. ab, so daß die freien Radikale für die Reaktion mit Silicium in unmittelbarer Nähe des Kupfers zur Verfügung stehen. Das Kupferchlorid wird durch das elementare Silicium bei 265° und darüber nach $CuCl + Si = Cu + SiCl$ regeneriert, und in dritter Stufe erfolgt nunmehr die Addition von Methylgruppen an das SiCl zu $SiCH_3Cl$, das dann weiter sowohl Methyl wie Chlor zu einer Mischung von Verbindungen vom Typus $(CH_3)_aSiCl_{4-a}$ anlagert.

Man sollte meinen, daß von den beschriebenen fünf Verfahren die drei älteren lediglich als Laboratoriumsverfahren eine Berechtigung hätten, aber E. G. Rochow äußert in seinem Buch, daß jedes sowohl im Labor wie im Betrieb von Wert sei und keines ein anderes verdrängen würde, sie sich vielmehr gegenseitig ergänzten. Nebenbei sei bemerkt, daß die Trennung der einzelnen Glieder der Methylreihe wegen ihrer nahe beieinander liegenden Siedepunkte eine ziemlich kniffliche Aufgabe ist. In der nachstehenden Tabelle sind die wichtigsten Vertreter der organischen Siliciumhalogenide mit ihren Siedepunkten zusammengestellt:

Name	Formel	Siedepunkt
Methyltrichlorsilan	CH_3SiCl_3	66
Dimethyldichlorsilan	$(CH_3)_2SiCl_2$	70
Trimethylchlorsilan	$(CH_3)_3SiCl$	57,6
Dimethyldibromsilan	$(CH_3)_2SiBr_2$	112,3
Diäthyldichlorsilan	$(C_2H_5)_2SiCl_2$	129
Äthyltrichlorsilan	$(C_2H_5)SiCl_3$	100
Dipropyldichlorsilan	$(n{-}C_3H_7)_2SiCl_2$	176
Diphenyldichlorsilan	$(C_6H_5)_2SiCl_2$	303
Äthyl-phenyldichlorsilan	$(C_2H_5)\,(C_6H_5)SiCl_2$	230
Vinylmethyldichlorsilan	$(CH_2 = CH)CH_3SiCl_2$	93
Allylmethyldichlorsilan	$(CH_2 = CH\,CH_2)CH_3SiCl_2$	119

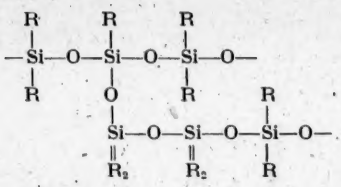
Die Bildung der Siloxanketten und Netze.

Durch Hydrolyse der Alkylsilanhalogenide entstehen die *Organosiloxane* oder polymeren Silikone. Für den Charakter derselben ist die Art des Hydrolyseverfahrens, die Wahl des Ausgangsmaterials und eine eventuelle Nachbehandlung der primären Polymerisationsprodukte von Bedeutung. Die einfache Hydrolyse der ätherischen Lösung (oder des Dampfes) mit Wasser oder Eis liefert *harzartige* Produkte. Eine verfeinerte Abwandlung des Verfahrens besteht in der Anwendung starker Salzlösungen oder fester hydratischer Salze oder auch Kieselgel, endlich in der Hydrolyse oder Alkoholyse von Toluollösungen der Alkylsiliciumhalogenide mit einem Wasser-Butanol-Gemisch.

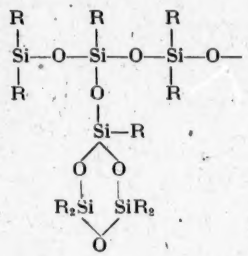
Die primären niedrigmolekularen Silikone, Flüssigkeiten von definiertem Siedepunkt, polymerisieren bei Gegenwart von Luft weiter. Hierbei wirken HCl + $FeCl_3$, $AlCl_3$, $ZnCl_2$ katalytisch. Wird die Luftoxydation an Äthylsilikonen bei 300° durchgeführt, so wird Acetaldehyd frei und es treten Querverbände auf (s. u.), wobei die Massen immer harziger, unlöslich und unschmelzbar werden.

Die Hydrolyse mit konz. Salzsäure in Methanol liefert *ölartige* Silikone, das Erhitzen primärer Hydrolysenprodukte mit Eisen- oder Aluminiumchlorid plus Benzoylperoxyd wandelt in *kautschukartige* Stoffe um.

Obwohl die Kenntnis von der *Konstitution* noch gering ist, es insbesondere vorerst noch an Röntgenogrammen und deren Analyse gebricht, kann man sich doch bereits einige einigermaßen gesicherte Vorstellungen vom Bau der Silikone machen. Über die einfachsten Siloxanketten und Ringschlüsse wurde bereits eingangs das Wichtigste gesagt. Was die *Vernetzung* angeht, so ist der erste Weg hierzu die Einführung trifunktionaler Siliciumatome (also $RSi(OH)_3$) in die Siloxankette mit nachfolgender Errichtung von Sauerstoffbrücken an solchen Atomen gemäß nachfolgendem Schema:



oder unter Ringschluß nach

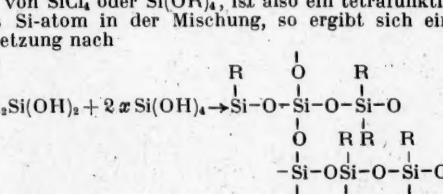


Erreicht wird eine solche Konstitution durch die Hydrolyse gemischter mono- und disubstituierter Si-halogenide mit gemeinsamer Kondensation der Silantriole und Diole:

$$2\,x\,R_2Si(OH)_2 + x\,RSi(OH)_3 \rightarrow [-R_2Si\text{-}O\text{-}R\underset{\underset{O}{|}}{Si}O\text{-}R_2SiO]_x$$

oder auch durch Oxydation der Siloxane einfacher Art (in denen das Verhältnis R : Si = 2 ist), wobei z. B. unter Abgang von Äthylradikalen als Acetaldehyd ein Ersatz von R- durch O-Brücken eintritt.

Erfolgt die gemeinsame Kondensation bei Gegenwart von $SiCl_4$ oder $Si(OR)_4$, ist also ein tetrafunktionales Si-atom in der Mischung, so ergibt sich eine Vernetzung nach



Geht man von Alkenylsilikonen, am besten mit Allylgruppen, aus und polymerisiert mit Benzoyl- oder Acetylperoxyd, so tritt wie bei rein organischen Kunststoffen eine Vernetzung über die ungesättigten organischen Glieder ein.

Die Silikonklassen und ihre Bedeutung.

Von der Feinstruktur der polymeren Silikone ist es abhängig, ob sie als Öle, Harze oder kautschukartige Elastomere in Erscheinung treten. Alle drei Klassen (einschließlich der wasserabweisenden Filme auf irgendwelchen Oberflächen aus anderem Material) sind von hoher praktischer Bedeutung.

Die *Öle* sind verwendbar als Schmiermittel, Brems- und hydraulische Flüssigkeiten, wohl auch in Diffusionspumpen. Von Vorteil ist ihr geringer Temperaturkoeffizient der Viskosität, die geringe Flüchtigkeit, der minimale Dampfdruck, die hohe Resistenz gegen Säuren und Laugen. Die Schmierwirkung bleibt von —40° bis +200° konstant erhalten.

Die *Harze* dienen als Isolationsmaterial bei Motorenwickelungen, zur Imprägnierung von Geweben, Glasfasern und Asbest, zur Lackierung von Drähten und keramischen Isolierkörpern sowie überhaupt als Lackgrundlage für Schutzanstriche, wo die wenig temperaturbeständigen organischen Lacke nicht genügen. Die Dielektrizitätskonstante wird mit 3,7 bei 26° und 3,6 bei 56° angegeben, die Durchschlagsfestigkeit beträgt 1500 bis 2000 V auf den mm bezogen.

Die *Gummis* sind elastisch und weitgehend temperaturunempfindlich, bis —55° dehnbar und auch bei langer Beanspruchung bis +200° elastisch. Sie sind beständig gegen Ozon und U-V-Licht, ölfest und chemisch kaum angreifbar. Die Reißfestigkeit ist allerdings wesentlich geringer als bei Buna oder Naturkautschuk. Bei der Herstellung von Kautschukkörpern wird das Silikon mit Füllstoffen genau wie beim organischen Kautschuk gemischt, in Formen verpreßt und dann bei Temperaturen von 200 bis 250° längere Zeit vulkanisiert. Anwendung findet der Silikonkautschuk für thermisch hochbeanspruchte Dichtungen, als Draht- und Kabelisolierung.

Was die Darstellung und den molekularen Bau der einzelnen Klassen angeht, so sind die *linearen* Methylpolysiloxane mit begrenzter Kettenlänge vom Typus

$$CH_3[(CH_3)_2SiO]_xSi(CH_3)_3$$

das Material der *Flüssigkeiten* und *Öle*. Hydrolysiertes Dimethyldichlorsilan wird in einem Verhältnis mit Hexamethyldisiloxan (aus $(CH_3)_3SiCl$) gemischt, das die gewünschte durchschnittliche Kettenlänge gewährleistet. Dann werden 4 Vol. Proz. konz. Schwefelsäure zugegeben. Diese reagiert mit den Siloxanbindungen unter Esterbildung. Der Sulfatester hydrolysiert, liefert Schwefelsäure zurück und diese greift eine neue Siloxanbindung an. So werden Bindungen geöffnet und geschlossen, bis eine Gleichgewichtsverteilung von Kettenlängen erhalten ist. Die durchschnittliche Kettenlänge ist durch die Menge der Reagenzien bestimmt. Nach Einstellung des Gleichgewichts werden etwa 20 Vol. Proz. Wasser zugegeben, wobei die übriggebliebenen Ester hydrolysiert werden. Das Öl wird abgetrennt, neutralisiert und getrocknet. Die so entstehenden Ketten von begrenzter Länge, abgeschlossen durch CH_3-Gruppen, sind unfähig zu weiterer Kondensation, daher chemisch stabil und thermisch beständig. Der Dampfdruck hängt von der Kettenlänge ab, die Verdampfungswärme gehorcht nach Wilcock[11]) der Gleichung ΔH_{dampf} linear $= 4{,}70 + 1{,}65\,x$ kcal, wobei x die Zahl der Si-atome in der Kette bedeutet.

Wenn trifunktionale Gruppen eingeführt werden (also $R\,Si(OH)_3$), tritt eine *Verzweigung der Ketten* auf. Da jede Verzweigung durch eine $(CH_3)_3Si$-Einheit abgeschlossen ist, bleibt die chemische Stabilität gewahrt. Die verzweigten Polymeren haben eine geringere Viskosität und einen niedrigeren Erstarrungspunkt als die graden Ketten des gleichen Molgewichts. Einige bleiben bis —89° noch flüssig. Der Viskositätstemperaturkoeffizient steigt mit der Verzweigung an, die Dichte aber ändert sich nicht.

Von dem bei weitem umfangreichsten Gebiete, dem der *Harze*, kann hier wegen Raummangel nur eine sehr knappe Darstellung gegeben werden. Bei den Harzen wirken sich die verschiedenen Substituenten sehr charakteristisch aus; Rochow unterteilt sie daher in Methyl-, Äthyl-, höhere Alkyl-, Aryl- und Alkyl-Aryl-Harze.

Harzcharakter bekommen die Silikone durch die *Ausbildung von Querverbänden zu Netzwerken*. Daher ist in ihnen das Verhältnis R : Si stets kleiner als 2. Die Methoden der Darstellung sind oben bereits angedeutet, für die Methylsilikone gelten die folgenden: 1. Oxydation mit Luft bei Gegenwart eines Katalysators, 2. Beimischung von Methyltrichlorsilan oder $SiCl_4$ zum Dichlorid, 3. partielle Methylierung von $SiCl_4$ bis zum gewünschten CH_3/Si-Verhältnis. Methylsilikon-Harze mit CH_3/Si-Verhältnis von 1,2 bis 1,5 sind farblos und fest. Die zur Härtung bei 100° benötigte Zeit wächst von 2 bis 24 Stunden. Der Brechungsindex weist eine lineare Beziehung zum Methylgehalt auf. Unterhalb 1,2 Methylgruppen pro Si-atom sind die Harze zähe Sirupe, die bei Raumtemperatur zu harten, spröden, glasigen Massen eintrocknen. Oberhalb 1,5 und besonders 1,7 sind die Produkte ölig, werden aber nach Tagen oder Wochen bei 200° zu einem weichen Gel. Im ganzen sind die Methyl-Harze von ausgezeichneter thermischer Beständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Oxyda-

tion. Erhitzen auf 500° im Vakuum oder in Wasserstoff vertragen sie ohne zu schmelzen und ohne Zersetzung, oberhalb 300° oxydieren sie sich an der Luft langsam, aber erst bei 550° verbrennen sie in reinem Sauerstoff.

Die *Äthyl*-Harze sind weicher, löslicher und trocknen langsamer. Haben sie 2 Äthylgruppen pro Si-atom, so bleiben sie flüssig und widerstehen dem Versuch zu gelatinieren. Ähnlich liegt der Fall bei Propyl-, Butyl- und Amyl-silikonen vom Typus $(R_2SiO)_x$. Die Polyalkylsiloxane vom Typus $(RSiO_{1,5})_x$ sind fest, unschmelzbar oder glasig. Die Amylverbindung ist harzartig und löslich in Äther oder Benzol.

Durchaus verschieden von den Alkylsilikonen sind die *Arylabkömmlinge*, woraus überzeugend hervorgeht, daß man die Kenntnisse, gewonnen an einer Gruppe der Organosiloxane, nicht auf eine andere übertragen darf. Das Diphenylsilandiol $(C_6H_5)_2Si(OH)_2$ ist kristallin und hat einen scharfen Schmelzpunkt von 148°. Werden die Kristalle in Äther gelöst und mit wenig konz. Salzsäure erwärmt, so erhält man in hoher Ausbeute ein einziges Individuum, das Hexaphenylcyclotrisiloxan $[(C_6H_5)_2SiO]_3$ (Strukturbild s. o.). Durch Reaktion der alkoholischen kochenden Lösung mit wenigen Tropfen Natronlauge entsteht das deutlich kristalline Tetramere, das Oktaphenyl-cyclotetrasiloxan, das bei 200 bis 201° schmilzt. Die Krystallstruktur ist monoklin, die Elementarzelle enthält nach Burkhard[12]) 4 Molekeln oder 16 $(C_6H_5)_2SiO$-Einheiten.

Eine Abwandlung der Eigenschaften der Phenylsilikone ist durch Chlorierung des aromatischen Kerns möglich. Es entstehen dann spröde, schmelzbare Harze die wenig oder — mit 3 Chloratomen im Kern — überhaupt nicht entflammbar sind. Solche chlorreichen Phenylsilikone sind thermisch bis 450° stabil, die Dielektrizitätskonstante steigt mit dem Chlorgehalt bis zum Wert 3,5 bei 25° für das Trichlorprodukt. Auch Fluor-, Brom- und Jodderivate sind bekannt, die ersteren haben ein besonderes Interesse als feuersichere Harze zum Gebrauch bei erhöhten Temperaturen.

Gemischte Alkyl-Arylsilikone vereinen die Eigenschaften beider Klassen, so daß eine Verbesserung in bezug auf Härte und Zähigkeit erzielt werden kann. Derartige Mischverbindungen können entweder durch Einführung von Alkyl- und Arylgruppen an dasselbe Si-atom oder durch gemeinsame Kondensation der Einzelglieder zu einem Co-polymeren dargestellt werden. Nach E. G. Rochow[13]) sind die Kompositionen mit höherem Methylgehalt denen mit höherem Phenylgehalt überlegen, da Sprödigkeit vermieden wird. Ein Harz, das im Durchschnitt 1,00 Methyl und 0,80 Phenyl pro Si-atom besitzt, hat in Form eines Films auf Glaswolle besonders günstige dielektrische Eigenschaften.

Über die Silikongummis ist das Wesentliche bereits oben auseinandergesetzt, so daß nur noch übrigbleibt, den *wasserabweisenden Filmen* einige Worte zu widmen. Das Verfahren, mit Hilfe von Methylchlorsilan-Dämpfen auf irgendwelchen Oberflächen eine beständige dünne Silikonschicht zu erzeugen, ist Gegenstand eines Patents von W. J. Patnode[14]). Es ist denkbar einfach und von universeller Anwendbarkeit. Da so ziemlich jedes Material an seiner Oberfläche eine Wasserhaut besitzt, mit dem der Dampf reagiert, genügen wenige Minuten, um einen Film zu erzeugen, der bei einer Dicke von etwa $2 \cdot 10^{-5}$ cm genügt, um den wasserabweisenden Charakter des Materials zu schaffen. Steatitisolatoren bekommen so eine gewaltige Erhöhung des elektrischen Widerstands. Unbehandelte, stark betaute Isolierkörper haben einen Wert von 1 megohm/cm². Ein Wachsüberzug steigert ihn auf 120 bis 400, die Behandlung mit Methylchlorsilandampf aber ergibt unterhalb des Taupunktes Werte von mehr als 200 000 megohm. Auf solche Art können Windschutzscheiben klar gehalten, Kleiderstoffe regendicht und Papiere wasserdicht gemacht werden. Das Verfahren ist billig, da nur eine geringe Menge eines nicht weiter aufgearbeiteten Methylchlorsilangemischs Verwendung findet.

Die kurze Darstellung des vielseitigen Gebietes möge abgeschlossen werden mit Worten E. G. Rochows über die historische Seite der Silikone: In den ersten 40 Jahren der Entwicklung fanden die ersten Forscher, daß organische Siliciumverbindungen existieren, in den zweiten 40 Jahren lehrten Kipping und seine Mitarbeiter, wie eine große Zahl Organosiliciumverbindungen auf einfachem Wege darstellbar sei und zeigten den Unterschied zwischen ihnen und den rein organischen Verbindungen. Die dritten 40 Jahre haben begonnen mit der kommerziellen Ausbeutung einiger weniger Stoffe, die durch die Anwendung der früheren Kenntnisse und einige neuerliche Untersuchungen entwickelt wurden. Es wird das Vorrecht der gegenwärtigen Bearbeiter sein, zu erleben, was in dem Rest der Periode geschieht, nun da kaufmännisches und wissenschaftliches Interesse sich geweitet und die Forschung beschleunigt hat.

Eingegangen am 19. Februar 1948.

[1]) An Introduction to the Chemistry of the Silicones, by Eugene G. Rochow, New York: John Wiley & Sons Inc. London: Chapman & Hall, Limited. 2. Aufl. (1947).
[2]) Kipping, F. S., im J. Chem. Soc. von 1901—1944.
[3]) Stock, A., Ber. **50**, 169 (1917).
[4]) Schwarz, R., Ber. **80**, 444 (1947).
[5]) Schumb u. Saffer, J. Am. Chem. Soc. **63**, 93 (1941).
[6]) Kipping, Proc. Chem. Soc. **20**, 15 (1904).
[7]) Dilthey, Ber. **37**, 319 (1904).
[8]) Cusa u. Kipping, J. Chem. Soc. **1933**, 1050; Schumb u. Saffer, J. Am. Chem. Soc. **61**, 363 (1939).
[9]) Shtetter, J. J. Russische Erfindungsbescheinigung 44934 (1935).
[10]) Rochow, J. Am. Chem. Soc. **67**, 963 (1945); U.S.Patent 2 380 995.
[11]) Wilcock, J. Am. Chem. Soc. **68**, 692 (1946).
[12]) Burkhard, Decker u. Harker, J. Am. Chem. Soc. **67**, 2174 (1945).
[13]) Rochow, E. G. U.S.Patent 2 258 222.
[14]) Patnode, W. J. U.S.Patent 2 306 222.

Seismische Ergebnisse der Helgoland-Sprengung.

Dieses Thema wurde in einer Sitzung der Royal Society am 20. November 1947 unter Vorsitz von E. C. Bullard (Cambridge) behandelt. Über die Durchführung der Messung und einige Ergebnisse wurde von folgenden Ländern berichtet: Dänemark (Lehmann), Holland (Veldkamp), Belgien (Charlier), Frankreich (Coulomb), Deutschland (Bartels, Reich, Schulze). Willmore (Cambridge) gab eine zusammenfassende Deutung der späteren Einsätze; er nimmt an, daß diese durch Pendeln der Energie zwischen den Schichtgrenzen entstehen.

Am 18. April 1947 wurden 6000 to Munition (die angegebene Menge schwankt, je nachdem ob nur der Sprengstoff oder ob auch die Sprengstoffumhüllungen mit angegeben werden) auf Helgoland zur Detonation gebracht. Seismische Wellen wurden bis in 1000 km Entfernung beobachtet. Bei dieser Sprengung wurden erstmalig sicher P_n-Einsätze beobachtet, die bisher nur aus Aufzeichnungen natürlicher Beben bekannt sind. Die Ankunftszeiten ergaben für P_n eine Geschwindigkeit von 8,1 km/s; in dem Beobachtungsgebiet NW-Deutschland laufen diese Wellen in ungefähr 27 km Tiefe. Diese exakte Tiefenbestimmung, die um höchstens 3 km unsicher sein kann, ist für viele Überlegungen von entscheidender Bedeutung.

Eine weitere, höhere Grenzfläche liegt in 11 km Tiefe. Die Longitudinal-Geschwindigkeit in dieser Schicht, von 11 bis 30 km Tiefe, beträgt 6,4 km/s. Die obere Grenze 11 km ist nicht in allen in Nordwest-Deutschland seismisch vermessenen Gebieten gleich. Bei der Helgoland-Sprengung wurde in östlicher Richtung als geringste Tiefe 5 km bestimmt.

G. A. Schulze.

Eingegangen am 15. Januar 1948.

Ingenieur-Archiv

Unter Mitwirkung von **A. Betz · A. Hertwig · K. Klotter**
E. Schmidt · E. Sörensen

Herausgegeben von **R. Grammel**

Das „Ingenieur-Archiv" erscheint in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften.

Vor kurzem erschien: **XVI. Band, 3. und 4. Heft.** Mit zahlreichen Abbildungen. 140 Seiten. 1948. RM 24.—

Inhaltsverzeichnis: Versuche zur Bestimmung der Feinheit und des Widerstandes schwebender staubförmiger Körper. Von *W. Barth.* – Die dreiseitig gelagerte Rechteckplatte (II. Mitteilung). Von *K. Goriupp.* – Anwendung der Henckyschen Sätze über das Gleichgewicht in plastischen Körpern auf die technischen Formgebungsverfahren. Von *E. Siebel.* – Ein Differenzenverfahren zur Berechnung laminarer Grenzschichten. Von *H. Görtler.* – Eine Verallgemeinerung der Kreis- und Hyperbelfunktionen. Von *R. Grammel.* – Ein Näherungsverfahren zur Berechnung der laminaren Reibungsschicht mit Absaugung. Von *H. Schlichting.* – Die Formänderungsenergiesätze in Anwendung auf den elastisch-plastischen Zustand. Von *W. Swida.* – Über einen Energiesatz zur Berechnung laminarer Grenzschichten. Von *K. Wieghardt.* – Anwendung des Energiesatzes von Wieghardt auf einparametrige Geschwindigkeitsprofile in laminaren Grenzschichten. Von *A. Walz.* – Einfluß der Elastizität der Gase auf die Wirkung von Schaufelgittern. Von *A. Betz.* – Ein neues Kriterium für den Verlauf der Dampfdruckkurve am kritischen Punkt. Von *R. Plank* und *L. Riedel.* – Praxis des spannungsoptischen Versuchs mit Dekorit als Modellwerkstoff. Von *E. Mönch.*

SPRINGER-VERLAG BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Zeitschrift für Astrophysik

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften

Unter ständiger Mitwirkung von
P. ten Bruggencate Göttingen
O. Heckmann Hamburg-Bergedorf
H. Kienle Potsdam
K. O. Kiepenheuer Freiburg i. Br.
M. Waldmeier Zürich

Herausgegeben von
W. Grotrian Potsdam
E. v. d. Pahlen Basel
A. Unsöld Kiel

Soeben erschien:

24. Band, 3./4. (Schluß-)Heft (Abgeschlossen am 2. Februar 1948). Mit 34 Textabbildungen. 183 Seiten. 1948. RM 22.-

Inhalt des 3./4. Heftes Bemerkungen zur Technik direkter Sonnenaufnahmen mit langbrennweitigen Instrumenten. Von *H. von Klüber* und *H. Müller.* - Über den Einfluß periodischer Spindelfehler auf die Schwärzungsverteilung in Spektroheliogrammen. Über die Krümmung von Spektrallinien in Gitter- und Prismenspektren. Über die geometrischen Verhältnisse bei der Brechung durch ein Prisma und bei der Beugung durch ein Gitter. Über Angleichung der Krümmung von Spektrallinien an eine konstante Spaltkrümmung. Von *V. von Keußler.* - Photometrie von 115 Doppelsternen. Von *J. Hopmann.* - Kernphysik und Kosmologie. Quantitative Spektralanalyse der Sonnenatmosphäre. Von *A. Unsöld.* - Über den Zusammenhang zwischen den Maßen und Geschwindigkeiten der Sterne. Von *Fr. Gondolatsch.* - Zur Berechnung der Zustandsummen für Atome und Ionen in einem teilweise ionisierten Gas. Über die Integralgleichung des Strahlungsgleichgewichtes in Sternatmosphären. Was kann man aus einer gegebenen Wachstumskurve schließen? Von *A. Unsöld.*

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

TECHN. PHYS.-WERKSTATTEN
EBERHARD VOLLMER
ESSLINGEN a.N.-METTINGEN

Seifert-Tetralux
der bekannte
Halbwellen-Diagnostik-Röntgenapparat
Wir empfehlen uns für die Instandsetzung von Röntgen- u. elektromed. Apparaten aller Fabrikate
Rich. Seifert & Co.
Röntgenwerk · Hamburg 13

HOLSTEINISCHE WERTARBEIT
Mikro-Präparate
Präzisions-Spiegel
Glasteilungen
Optische Instrumente
J.D. MÜLLER G.m.b.H., WEDEL i. HOLST.

Wissenschaftliche Assistentin
für allgemeine Botanik oder land- und forstwirtschaftliche Botanik für Institut in Berlin-Dahlem gesucht.
Angebote an L. Schreckling, Berlin-Steglitz, Halskestraße 4

Nachdrucke von Zeitschriften

Es ist beabsichtigt, von den Kriegsjahrgängen der in Deutschland erschienenen chemischen Zeitschriften Nachdrucke herzustellen, um die entstandenen Lücken zu füllen.

Zur Feststellung des Bedarfs an diesen Nachdrucken bitten wir alle Interessenten, ihre Wünsche bis zum 1. Oktober 1948 der unterzeichneten Kekulé-Bibliothek unverbindlich anzugeben. Die Kekulé-Bibliothek übernimmt hiermit lediglich die Vermittlung zwischen den Verlegern und den Interessenten, ohne jedoch für später eine Lieferungszusage geben zu können.

KEKULÉ - BIBLIOTHEK *Farbenfabrik Bayer*
(22c) LEVERKUSEN-BAYERWERK

Zur Vervollständigung unserer Zeitschr.-Sammlung suchen wir nachstehende Nr. älterer Jahrgänge:
Bildmessung und Luftbildwesen ab Nr. 3/1943. bis Ende
Flugsport alle Nr. von 1934 – 1938 u. ab Nr. 10/1944 bis Ende
Flugzeugbau alle Nr. von 1940 u. 1943, Nr. 1, 5, 8, 11, 12/1941 Nr. 1, 3, 12/1942, Nr. 1 bis 7 u. 9/1944, ab Nr. 12/1944 bis Ende
Heinkel-Werkzeitung Nr. 2/1938 und ab Nr. 9/1939
Jahrbuch der deutschen Luftfahrtforschung alle Nr. außer 1942
Luftfahrtforschung alle Nr. von 1933 und 1937, Nr. 4/1929 und ab Nr. 2/1944
Luftfahrtmedizin Nr. 2/3 Band 6/1941, alle Nr. Band 4 und 5, ab Nr. 3/1944
Luftfahrtschrifttum des Auslandes in Übersetzungen (Z.W.B.) ab Nr. 12/1938
Luftwehr alle Nr. von 1935 do. 1938 außer Nr. 6 u. 7, Nr. 5/1939 u. ab Nr. 8/1939
Luftwissen Nr. 2/1944 und ab Nr. 10/1944
Nachrichten für Luftfahrer ab Nr. 34/1939 bis . . .
Öl und Kohle alle Nr. von 1940 – 1943 einschl. u. ab Nr. 21/1944
Angeb an D.I.S. /T.A. Berlin-Neu-Heiligensee, Ruppiner Chausee 268 erbeten

Refraktometer
Bohrapparate
Fräsmaschinen für Rübenuntersuchungen sucht
F. von LOCHOW-PETKUS G.m.b.H.
(20a) HASSELHORST, Post Bergen (Kreis Celle), Postfach 5

Biete: Chemisches Zentralblatt 1947 Heft 7/8 bis 33/34
Suche: Naturwissenschaftliche Literatur, besonders Lehrbücher
Angebote unter N.W. 52 an diese Zeitschrift

Kathodenstrahl-Oszillographen
Drehspulinstrumente
Ferndrehzahlmesser
Meßbrücken
Kurt Hillerkus
Meß- und Regeltechnik
KREFELD · Brahmsstraße 86

Archiv für Mikrobiologie
Zeitschrift für die Erforschung der pflanzlichen Mikroorganismen
Begründet von J. Behrens, F. Boas, A. Rippel
Herausgegeben von A. Rippel-Baldes und R. Harder, Göttingen
Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften
In Kürze erscheint: 14. Band, 1. Heft
SPRINGER-VERLAG · Berlin · Göttingen · Heidelberg

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung. - Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50 - Für den Anzeigenteil verantwortlich: Hans-Georg Halfter, Stahnsdorf b. Berlin, Meisenweg 33. - Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Springer-Verlag, Berlin und Göttingen. - Printed in Germany.